

# طبيعة قوانين الفيزياء

رؤية واضحة وعصرية لبنية العالم

تأليف

رئسارو فاينمان

جائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٦٥

ترجمته:

د. أدهم لسمان

أستاذ الفيزياء في جامعة دمشق



مؤسسة الرسالة

جميع الحقوق محفوظة

طبعة قوانين الفيزياء  
رؤية واضحة وعصرية لبنية العالم

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



سوريا - دمشق - شارع ماسم البارودي - بناء غولي وصلاحي رقم ٣٧  
هاتف ٢١٢٧٧٣ - ص.ب ١١٧٢١ - برياً: بوشران - تلس ٤١١٥٢٩ وميل

الشركة المتحدة للتوزيع

رئیس‌جمهور و فایده‌ها

این کتاب ترجمه کرده عنوان  
اسماء القانون الفیزیائی  
الحوافز و المعارف العالم و خلیل علی الزبیر  
میرزا یوسف و ابوشی  
ص ۱۵۰ سنه ۱۳۹۵ هـ

السعودیة للعلوم  
الفیزیائیة

# طبیعة قوانین الفیزیاء

رؤية واضحة وعصرية لبنية العالم

ترجمته

د. أدهم لسمان

العنوان الاصلي للكتاب

**The Character of Physical Law**

**Richard Feynman**

ان الفصول السبعة التي يتالف منها هذا الكتاب  
هي سلسلة محاضرات ارتجلها العالم فاينمان بلهجة اليفة  
واسلوب يتسم بالفكاهة . ولايستطيع سوى احد كبار  
الفيزيائيين في عصرنا الحاضر ان يشرح بمثل هذه الكفاءة  
وهذا الوضوح مواضيع الفيزياء التقليدية ومواضيع الفيزياء  
المعاصرة ، هذه الفيزياء التي اسهم فاينمان نفسه في تقدمها  
وجلاء غوامضها اسهاما خلافا . وهذه المحاضرات تستهدف  
جمهورا واسعا من القراء ليس لديه بالضرورة المام عميق  
 بالرياضيات فترسم له صورة تحليلية واضحة وعصرية للقوانين  
الاساسية في الفيزياء وتروي له تاريخ هذا العلم منذ عصر  
غاليله حتى ايامنا هذه .

مكتبة  
الكتاب



## مقدمت

ان الفصول السبعة التي يتألف منها هذا الكتاب هي نصوص سلسلة من المحاضرات القيت في جامعة كورنيل في الولايات المتحدة الامريكية تحت اسم «محاضرات ميسنجر» ، أمام جمهور من السامعين يتألف من طلاب يريدون أن يفنوا معارفهم العامة عن « طبيعة القانون الفيزيائي ». وقد كانت هذه المحاضرات ارتجالا تنظمه بضعة رؤوس اقلام دون نصوص مكتوبة مسبقا .

ان « محاضرات ميسنجر » كانت تلقى في كورنيل كل عام منذ أن تبرع ج.ج. ميسنجر ( الذي كان طالبا ثم استاذا للرياضيات في الجامعة ) عام ١٩٢٤ بمبلغ من المال لتغطية نفقات مشاهير الاعلام الذين يفدون من جميع أنحاء العالم ليتحدثوا الى الطلاب . ولدى تقرير هذه المحاضرات اراد ميسنجر منها أن « تكون دروسا في تطور الحضارة تستهدف بالتدقيق السمو بالموازين الاخلاقية لحياتنا السياسة والاقتصادية والاجتماعية »

وفي تشرين الثاني ( نوفمبر ) ١٩٦٤ دعي الاستاذ رتشارد ب. فاينمان الفيزيائي والمعلم الشهير ، لالقاء محاضرات ذلك العام . كان فاينمان استاذا في كورنيل وهو الآن استاذ الفيزياء النظرية في مؤسسة كاليفورنيا للتكنولوجيا . وقد عين مؤخرا عضوا اجنبيا في الجمعية الملكية الانكليزية ، وقد اشتهر ليس فقط في الاسهام في معلوماتنا الحالية عن قوانين الفيزياء بل وايضا بموهبته الفذة في التبسيط .

وفصول هذا الكتاب هي تلك المحاضرات التي القاها الاستاذ فاينمان على جمهور حاشد ، من منبر واسع يؤمن له الحرية الكاملة في التعبير



والحركة لانه ، كمحاضر ذي سمعة دولية ، قد اشتهر بحركاته المعروفة على ساحة المنبر .

ان هذا الكتاب يريد ان يكون دليلا او كتاب تذكرة لمشاهدي التلفزيون الذين يرغبون ، بعد ان حضروا المحاضرات ، في ان يحتفظوا لها بذكرى راسخة .

وبالرغم من انه لايجب ان يعتبر ، بحال من الاحوال ، كتابا مدرسيا فان كثيرا من المحاكمات الواردة فيه يمكن ان تنير الطريق للطلاب الذي يحاول ان يتفهم قوانين الفيزياء بصورة أوضح .

هذا وان رتشارد فاينمان يعرفه ، قبل الآن ، مشاهدو التلفزيون البريطاني كأحد الفيزيائيين الذين قدمهم فيليب دالي في برنامجه المسمى « رجال في قلب الطبيعة » وفي اسهامه الرائع في « غرابة ناقص ثلاثة » أحد امتهج برامج ١٩٦٤ حول الاكتشافات العلمية الحديثة .

لقد أثار خبر تكليف الاستاذ فاينمان ب « محاضرات ميسنجر » اهتماما كبيرا في قسم العلوم والمواضيع الخاصة في الاذاعة البريطانية . وقد ادرجت هذه السلسلة في برامج البث رقم ٢ في اطار « برنامج التثقيف المستمر » على شاكلة المحاضرات التي كان قد القاها رجال اعلام مثل بندي في النسبية وكندرو في البيولوجيا الجزيئية وموريسون في ميكانيك الكم وبورتر في الترموديناميك .

ان ماستقراونه هو نسخة مكتوبة لهذه المحاضرات ، وقد دقق فاينمان في صحتها العلمية . وقد قمت شخصا مع مساعدتي فيونا هلميس بتجميع الكلمات الملفوظة وبتقديمها لكم مطبوعة . ونأمل ان يحوز هذا الكتاب رضاكم . فالعمل مع رتشارد فاينمان كان تجربة غنية ، ونحن على يقين من ان القراء سيحصلون على فائدة كبيرة من هذا الانجاز .

الان سميث

منتج في الاذاعة البريطانية ، البرامج الخارجية

قسم العلوم والمواضيع الخاصة .

حزيران ( يونيو ) ١٩٦٥

# ناظر جامعت كورنيل ديل ر. كرسن

يقدم محاضر « ميسنجر » لعام ١٩٦٤

سيداتي وسادتي : لي الشرف بأن أقدم لكم محاضر « ميسنجر »  
الاستاذ رتشارد ب. فاينمان من مؤسسة كاليفورنيا للتكنولوجيا .

ان الاستاذ فاينمان فيزيائي كبير ، وهو نظري عمل كثيرا في سبيل  
توضيح التطورات المدهشة ، والغامضة غالبا ، التي عرفتها الفيزياء بعد  
الحرب . ولن اذكر من بين الامجاد والامتيازات التي حازها سوى جائزة  
البرت اينشتاين التي منحت له عام ١٩٥٤ . وتتألف هذه الجائزة ، التي  
تمنح كل ثلاثة اعوام ، من ميدالية ذهبية ومبلغ محترم من المال .

بدا الاستاذ فاينمان دراسته الجامعية في مؤسسة ماساشوستس  
للتكنولوجيا واتمها في برينستون ، وعمل في اطار مشروع منهاتن في  
برينستون ثم في لوس آلاموس ، وعين استاذاً مساعداً في كورنيل عام  
١٩٤٤ ولكنه لم يستوطنها قبل نهاية الحرب . ولقد خطر لي انه قد  
يكون من المثير أن نرى ما كان قد قيل عنه حين تعيينه . ولهذا رحت  
انقب في السجلات القديمة لمجلس ادارتنا . . . دون أن أعثر على أي أثر  
لهذا التعيين . ولكنني وجدت رغم ذلك قرابة عشرين وثيقة حول عطلاته  
وزيادات راتبه وترفيعاته . وقد اثارت احداها اهتمامي بصورة خاصة .  
ففي ٣١ تموز ( يوليو ) ١٩٤٥ كتب مدير قسم الفيزياء الى عميد الكلية  
ان « الدكتور فاينمان هو معلم وباحث من الدرجة الاولى ومن مستوى

يندر امثاله » . ويرى المدير ان راتب ثلاثة آلاف دولار في السنة قليل لعلم جامعي ، ويقترح للاستاذ فاينمان زيادة تسعمائة دولار في السنة . وقد شطب العميد ، بنخوة كرم نادرة ، على العدد تسعمائة ودون ان يعير الامكانات المالية للجامعة اي اهتمام كتب الفا مدورة بدلا منه . وهكذا ترون اننا كنا منذ ذلك الوقت نكنّ للاستاذ فاينمان فائق التقدير . واستقر فاينمان هنا في اواخر عام ١٩٤٥ وقضى خمس سنوات في انتاج غزير . وغادر كورنيل عام ١٩٥٠ الى كالتك ( مؤسسة كاليفورنيا للتكنولوجيا ) وبقي منذئذ هناك .

وقبل ان اترك له الكلام اود ان اضيف بضع كلمات . فمئذ ثلاث سنوات بدا باعطاء دروس فيزياء للسنة الاولى كانت نتائجها انه اضاف اتساعا جديدا لشهرته . فلقد نشرت دروسه في ثلاثة مجلدات تمنح الافكار التقليدية شبابا جديدا .

لقد وضعت في مقدمة هذه الدروس صورة لفاينمان وهو يعزف بمرح على طبله « البنجو » . ويقول لي اصدقائي في كالتك انه يحدث له ان ينزل الى علب الليل في لوس انجليس ويأخذ مكان عازف الطبول في الجوقة ؛ ولكن الاستاذ فاينمان يؤكد لي ان هذا ليس صحيحا . وفتح الاقفال ذات السر هو ايضا احد اختصاصاته . وهناك اسطورة تقول انه كان ذات يوم في مؤسسة سرية ، ففتح فيها خزانة موصدة وأخرج منها وثيقة سرية وترك مكانها بطاقة كتب عليها : « احذروا من ؟ » . يمكن ايضا ان اروي ، حين كان عليه ان يذهب للقاء سلسلة من المحاضرات في البرازيل ، كيف تعلم اللغة الاسبانية قبل ان يذهب الى هناك . ولكني لن افعل .

انظن انكم الآن قد عرفتم عنه ما يكفي . فدعوني اقل لكم إذن انني مسرور جدا باستقبال الاستاذ فاينمان من جديد في كورنيل . وموضوع محاضراته هذا العام هو « القانون الفيزيائي وطبيعته » وسيحدثنا هذا المساء عن « قانون الثقالة كمثل على القانون الفيزيائي » .

د . د . كرسن

## قانون التشاقل

### مثال على القانون الفيزيائي

من الطريف ، في المناسبات النادرة التي يطلب مني فيها أن أعزف على « البنجو » أمام الجمهور ، أن الذي يقدمني لا يرى ، على ما يبدو ، أية ضرورة لأن يذكر أنني أمارس الفيزياء النظرية أيضا . والارجح ، على ما اظن ، أن هذا ناتج عن أننا نحترم الفنون أكثر من العلوم . فالفنانون في عصر النهضة كانوا يقولون بأن الإنسان يجب أن يكون موضوع الاهتمام الأول للإنسان . ولكن يوجد مع ذلك في هذا العالم أشياء أخرى تستحق الاهتمام . والفنانون أنفسهم يستهويهم منظر الشمس الغاربة وأمواج المحيط وسير النجوم في رحاب سماء . فهناك إذن أسباب قوية لأن نهتم بها أيضا . وهذا التأمل لوحده كاف لأن يولد لدينا ارتياحا من النوع الجمالي . لكن يوجد أيضا في هذه الظواهر الطبيعية إيقاع وبنية خافيان على العين ولا يبرزان إلا عند التمحيص . أن هذه الإيقاعات وتلك البنى هي التي نسميها القوانين الفيزيائية . وأنا أريد أن أناقش ، في سلسلة المحاضرات هذه ، الخواص العامة لهذه القوانين الفيزيائية وذلك في مستوى أكثر عمومية ، إذا سمحتم ، من دراسة القوانين ذاتها . والواقع أن الموضوع هو الطبيعة كلها كما تبرز من خلال تحليل مفصل . ولكنني أريد أساسيا أن أتحدث عن مظاهرها الأكثر عمومية .

أن هذا الموضوع بعموميته يتطور في هذه الأيام ليصبح فلسفيا أكثر من اللازم : إذ يكفي أن تقول أشياء عامة يفهمها كل الناس حتى يقال

عنك أنك فيلسوف عميق . على أنني أريد أن أحت الموضوع بشكل واضح واحب أن أكون مفهوما بدقة أكبر وليس فقط بشكل غامض . وعلى هذا الأساس سأحاول ، في هذه المحاضرة ، أن أعطي ، بدلا عن مجرد العموميات ، مثالا قانونا فيزيائيا يتيح لكم على الأقل أن تتروا فيه مثالا على الأشياء التي سأتكلم عنها بصورة عامة . فهكذا أستطيع أن أستخدم هذا المثال في كل مرة أشعر فيها بالحاجة إلى التوضيح ، أو لكي أجعل ملموسا كل ما يبدو ، بدون هذا المثال ، تجريديا أكثر من اللازم . وكمثال خاص على القانون الفيزيائي اخترت ظاهرة التثاقل . ولماذا اخترت هذا المثال ؟ لا أدري ذلك بالضبط . ربما لأنه كان أحد أوائل القوانين الكبرى التي اكتشفت ؛ وله قصة تثير الاهتمام . وقد تقولون في أنفسكم : «نعم، ولكن هذه حجة عتيقة . ونحن نحب أن نسمع كلاما عن علم أكثر عصريّة.» ربما كان هناك علم أكثر حداثة ولكن ليس أكثر عصريّة . فالعلم العصري يقع تماما في سياق اكتشاف قانون التثاقل . وربما لا يكون الحديث عن المكتشفات الأكثر حداثة أكثر من كلام . وأنا لا أشعر في ضميري بأي تبكيت حين أتحدث لكم عن قانون التثاقل لأنني عندما أسرد تاريخه وطرائقه وركنه وملابس اكتشافه أشعر أنني عصري تماما .

لقد قيل أن هذا القانون كان « أكبر تعميم أنجزه الفكر البشري » ، ولكنكم تحزرون منذ الآن ، من مقدمتي هذه ، أنني لا أهتم بالفكر البشري بقدر ما أهتم بعجائب طبيعة يمكن أن تطيع قانونا بمثل البساطة والاناقة اللتين يتمتع بهما قانون التثاقل . وعلى هذا الأساس فنحن معجبون خصوصا ، لا بالبراعة التي ظهرت باكتشاف هذا القانون ، بل بالبراعة التي تظهرها الطبيعة في اتباع أحكامه .

أن قانون التثاقل يؤكد أن أي جسم يؤثر في أي جسم آخر ويتأثر منه بقوة تتناسب عكسيا مع مربع المسافة التي تفصل بينهما وطرديا مع جداء ( حاصل ضرب ) كتلتيهما . أن هذا ما يمكن أن نعبّر عنه بالصيغة :

$$F = \frac{G \times M \times m}{r^2}$$

التي تحوي في طرفها الايمن رمزا للقوة ، وفي طرفها الايسر ثابتا عدديا ( ث ) مضروبا بجداء كتلتي الجسمين ( ك ) و ( ك' ) ومقسوما على مربع المسافة ( م ) بين الجسمين . فاذا اضفت الآن أن كل جسم يتفاعل مع القوة بتسارع في حركته ، أي يغير سرعته بكمية متناسبة عكسيا مع كتلته فيعدل سرعته بكميات اكبر كلما كانت كتلته اصغر ، اكون قد قلت كل ما يستحق أن يقال عن قانون التثاقل . وكل ما يبقى هو نتيجة رياضية لهذين الشيئين . على انني اعلم انكم لستم جميعكم رياضيين وانكم لاتدركون لأول وهلة جميع ما يترتب على هاتين الملاحظتين . ولهذا اود ان احكي لكم هنا بايجاز قصة هذا الاكتشاف ، وبعض نتائجه ، وكيف كان تأثيره على تاريخ العلوم ، والاسرار الكامنة في هذا القانون ، وشيئا ما عن التحسينات التي ادخلها آينشتاين . وربما ايضا عن علاقته بقوانين الفيزياء الاخرى .

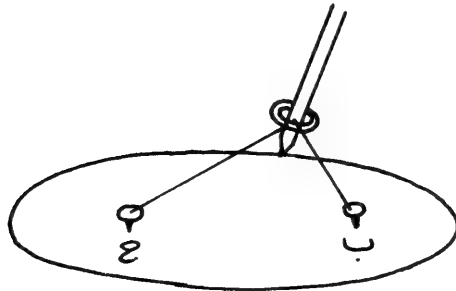
واليكم ، بوضع كلمات ، هذه القصة . لقد رصد القدماء أولا حركة الكواكب في السماء وخلصوا الى انها كلها ، بما فيها الارض ، تدور حول الشمس . وقد حدث هذا الاكتشاف مرة ثانية في وقت متأخر وبصورة مستقلة عند كوبرنيك بعد أن كان الناس قد نسوه . وعندئذ برز السؤال التالي : ما هي الكيفية الدقيقة التي تدور بموجبها الكواكب حول الشمس ، أي ما هو بالضبط نوع هذه الحركة ؟ هل ترسم الكواكب في مسيرها دوائر مركزها الشمس أم انها ترسم منحنيات من شكل آخر ؟ وبأية سرعة تتحرك ؟ الى آخر ما هنالك . وقد استغرق اكتشاف الجواب على هذه الاسئلة وقتا اطول . فبعد كوبرنيك قامت مناقشات كبيرة لمعرفة فيما اذا كانت الكواكب تدور مع الارض حول الشمس ، أم أن الارض تحتل مركز العالم ... الخ . ثم جاء رجل اسمه تيخو براهيه<sup>(١)</sup> تخيل طريقة للجواب على هذا السؤال . فقد فكر بأنه ربما كان من الخير أن يتم الرصد بعناية فائقة جدا وان تسجل بالضبط أمكنة الكواكب في السماء ، وعندئذ يمكن أن تقال كلمة الفصل بين النظريتين المتصارعتين . ذلك هو مفتاح العلم المعاصر وكان نقطة البدء لفهم الطبيعة بصورة حقيقية .

(١) تيخو براهيه ، ١٥٤٦ - ١٦٠١ ، فلكي دانمركي .

انها فكرة تفحص الشيء وتسجيل تفاصيله املا في ان هذه المعلومات المستقاة بهذه الطريقة تقود الى التفسير النظري . وعلى هذا الاساس فان تيخو ، وهو رجل غني كان يملك جزيرة بالقرب من كوبنهاغن ، قد جهّز جزيرته بدوائر كبيرة من النحاس وبمحطات رصد خاصة ، وأخذ يسجل مواقع الكواكب ليلة بعد ليلة . لابد من عمل شاق كهذا العمل ليتولد في نفوسنا الامل باكتشاف شيء عظيم .

وبعد ان تجمعت هذه المعلومات وصلت الى يدي كبلر الذي حاول عندئذ تحليل نوع الحركة التي تقوم بها الكواكب حول الشمس . واتبع في ذلك طريقة المحاولات المتتابة . وقد خيل اليه في بادئ الامر انه وجد ما يريد : فتوهم انها ترسم دوائر حول الشمس ولكن مركز الشمس يتغير . ثم لاحظ كبلر ان احد الكواكب محرووف بمقدار ثمان دقائق قوسية واعتقد انه لايعقل ان يكون تيخو قد ارتكب خطأ جسيما كهذا وان ما اكتشفه بنفسه ليس هو الجواب الصحيح . وهكذا وبسبب دقة التجارب تمكن كبلر من اعادة المحاولة وتوصل في نهاية الامر الى اشياء ثلاثة .

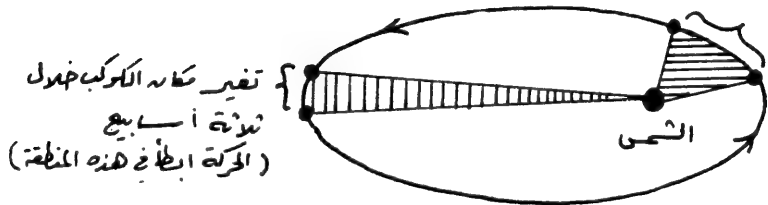
اكتشف اولا ان الكواكب ترسم حول الشمس منحنيات اهليلجية تحتل الشمس فيها احد المحرقين . والاهليلج ( أي ما يسميه الرياضيون القطع الناقص ) هو منحني مفلق يعرفه جميع الناس لانه دائرة مفلطحة ، ويعرفه ايضا اولاد المدارس الذين يحكى لهم انهم اذا أدخلوا خيطا ضمن حلقة ثم ثبتوا طرفي الخيط كلا لوحده في نقطة من ورقة بيضاء ثم اولجوا راس قلم ضمن الحلقة وداروا به على الورقة والخيط مطنب ، حصلوا على الاهليلج ، كما هو موضح في الشكل ١ .



شكل ١

النقطتان : ب و ج هما المحرقان . وكل كوكب يرسم حول الشمس اهليلجا تحتل الشمس احد محرقيه . يمكن الان ان نتساءل كيف يقوم الكوكب بهذا الدوران على الاهليلج ؟ هل يسرع في حركته عندما يكون اقرب الى الشمس ؟ وهل يبطيء في حركته عندما يبتعد عنها ؟ لقد وجد كبلر ايضا الجواب على هذا السؤال .

تغير مساحة الكوكب في  
ثلاثة اسابيع .  
( الحركة اسرع في هذه  
المنطقة ) .



شكل ٢

لقد وجد انكم اذا سجلتم مكانين للكوكب في لحظتين مختلفتين تفصل بينهما فترة زمنية معينة ، ولنقل ثلاثة اسابيع ، ثم سجلتم في منطقة اخرى من المدار مكانين اخرين تفصل بينهما ايضا فترة ثلاثة اسابيع ورسمتم بعدئذ خطوطا مستقيمة ( تسمى علميا انصاف اقطار شعاعية ) تذهب من الشمس الى الكوكب ، فانكم ستجدون ان المساحة المحصورة ضمن مدار الكوكب والمستقيمين المفصولين بفترة الاسابيع الثلاثة تبقى على قيمتها في اية منطقة من المدار ( اي ان المساحتين المخططتين في الشكل ٢ مثلا متساويتان ) . وعلى هذا الاساس فان الكوكب لا بد وان يسرع في حركته عندما يكون اقرب الى الشمس ويتباطأ كلما ابتعد عنها ، وذلك لكي يسمح المستقيم الذي يصله بالشمس بمساحات متساوية خلال فترات زمنية متساوية ( شكل ٢ ) .



وبعد عدة سنوات اكتشف كبلر قاعدة ثالثة تسيطر لا على حركة كوكب واحد فحسب بل تربط جميع الكواكب فيما بينها . وبموجب هذه القاعدة فان الزمن الذي يستغرقه الكوكب ليقوم بدورة كاملة واحدة حول الشمس مرتبط بتطاول المدار ، وان هذا الزمن يتغير من كوكب لآخر كما يتغير الجذر التربيعي لمكعب تطاول المدار . وتطاول المدار هو القطر الكبير المار بمحرتي الاهليج .

اذن فقد اكتشف كبلر هذه القوانين الثلاثة التي يمكن ان نوجزها بقولنا ان الكواكب تسير في افلاك اهليلجية وان مساحات متساوية تتمسح خلال ازمئة متساوية وان زمن الدورة الكاملة يتغير كما يتغير تطاول المدار مرفوعا الى أس يساوي ثلاثة انصاف اي الجذر التربيعي لمكعب التطاول . فقوانين كبلر الثلاثة هذه تصف تماما حركة الكواكب حول الشمس .

اما السؤال الذي يلي ذلك فقد كان : ما الذي يجعل الكواكب تدور حول الشمس ؟ كان في عصر كبلر اناس يجيبون بأن وراء كل كوكب ملاك يخفق بجناحيه ويدفع الكوكب في مساره . وهذا الجواب ، كما سترون ، ليس بعيدا جدعا عن الحقيقة . والفرق الوحيد ان للملائكة اماكن أخرى وانها تخفق بجناحيها نحو داخل خط المدار .

كان غالبية يدرس في ذلك العصر قوانين حركة الاجسام المألوفة الموجودة على سطح الارض . ولدى دراسة هذه القوانين ، من خلال عدد كبير من التجارب فحص فيها كيف تتدحرج الكريات على مستو مائل وكيف يتأرجح النواس وحركات أخرى ، اكتشف غاليله مبدا عظيما هو مبدا العطالة وينص على مايلي :

اذا لم يؤثر شيء في جسم يتحرك في خط مستقيم بسرعة ما ، فان الجسم يستمر في حركته بالسرعة نفسها وعلى المستقيم نفسه . ومهما بدا هذا النص صعب التصديق لمن جرب ان يدحرج كرية الى ما لا نهاية ( ان كان ذلك ممكنا ولم يتدخل اي تأثير يعيق حركة الكرية

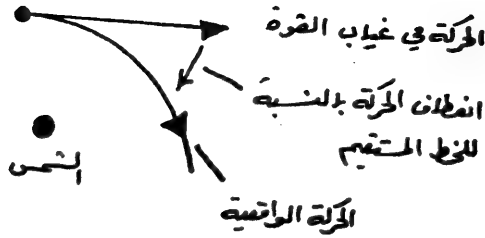
كالا حتكاك بلوح الخشب او سواه ) فان الكرية فد تستمر دون توقف  
بسرعة ثابتة .

اما الخطوة التي تلت كل ذلك فقد خطاها نيوتن الذي ناقش السؤال  
التالي : « اذا لم تذهب في خط مستقيم ، فما مفرى ذلك عنده ؟ »  
واعطى الجواب التالي : لابد من قوة لكي تتغير السرعة باي شكل كان .  
فاذا دفعتم مثلا كرية في الاتجاه الذي تتحرك اليه فانها تتسارع . ثم  
اذا رايتم انها قد غيرت اتجاهها فلا بد ان قوة جانبية قد اثرت عليها .  
ويمكن للقوة ان تقاس كجداء لكميتين .

بكم تتغير السرعة خلال برهة زمنية قصيرة ؟ هذا هو مانسميه  
التسارع ، واذا ضربناه بعدد ، يسمى كتلة الجسم او عامل عطالته ،  
فان هذا كله يعطي القوة ؛ ويمكن ان نقيسها . فاذا دورنا مثلا فوق  
رأسنا حجرا مربوطا بخيط نشعر ان علينا ان نشد بالخيط ، وسبب  
ذلك ان سرعة الحجر على دائرته ، رغم ثباتها ، تغير اتجاهها ؛ لابد  
اذن من قوة تشد الخيط باستمرار نحو الداخل ، وهي متناسبة مع  
الكتلة .

فلو اننا اخذنا جسمين مختلفين ودورناهما فوق الرأس ، واحدا  
بعد الاخر ولكن بنفس السرعة ، وقسنا قوة الشد التي يجب ان نمسك  
بها كلا منهما لوجدنا ان هاتين القوتين تختلفان بنفس معدل اختلاف  
الكتلتين .

ان هذه طريقة لقياس الكتلة بواسطة القوة اللازمة لتغيير سرعتها .  
ومن هنا رأى نيوتن ( ونحن نسوق هذا المثال لبساطته ) ان الكوكب  
الذي يرسم دائرة حول الشمس لاجابة به البتة الى قوة خارجية تجعله  
ينفصل جانبيا وفق مماس مساره . ولو لم يكن الكوكب خاضعا الى  
اية قوة لاستمر في خط مستقيم لا ترى فيه عوجا ولا أمنا . لكن الواقع ان  
الكوكب لايسير في خط مستقيم ولا يتواجد بعد برهة ما في المكان الذي  
كان عليه ان يوجد فيه لو انه كان حرا من تأثير اية قوة ، بل اننا نجده  
قد انعطف نحو الشمس ( شكل ٣ ) .



شكل ٣

وبتعبير آخر يبدو وكأنه أريد لسرعة الكوكب وحركته أن تنعطف نحو الشمس . وهكذا فإن كل ما على الملائكة أن تفعله هو أن تخفّق بجناحيها باستمرار باتجاه الشمس .

لكن الحركة التي تقرر الكوكب في خطه المستقيم ليس لها سبب معروف . ولم يمكن حتى الآن معرفة لماذا تسير الأشياء في اندفاعها إلى الامام فليس لمبدأ العطالة اصل معروف . وبالرغم من عدم وجود الملائكة فإن الحركة تستمر . لكن الانعطاف نحو الشمس يحتاج إلى قوة ، ولقد اتضح ان القوة تتجه نحو الشمس . والواقع أن نيوتن تمكن من البرهان على أن قانون المساحات المتساوية المسوحة في فترات متساوية هو نتيجة مباشرة للفكرة القائلة بأن كل تغيرات السرعة تتجه بدقة نحو الشمس حتى في حالة الاهليلج ، وباستطاعتي ان اريككم في محاضرتي القادمة بالتفصيل كيف يتم ذلك .

وبموجب هذا القانون أكد نيوتن فكرة ان القوة تتجه نحو الشمس . وبمعرفة كيف تتغير ادوار (١) مختلف الكواكب بتغير المسافات بينها وبين الشمس يمكن معرفة كيف تتغير القوة عندما تتغير المسافة . وقد

(١) جمع دور وهو الزمن الذي يستغرقه الكوكب للقيام بدورة كاملة . ( المترجم )

تمكن نيوتن من التأكيد على أن القوة لا بد وأن تتغير كما يتغير مقلوب مربع المسافة .

لهذا الحد لم يقل نيوتن أي شيء جديد ، لأنه قدم فقط فكرتين كان كبلر قد قدمهما بتعبير آخر ، لأن إحدى الفكرتين تكافئ تماماً القول بأن القوة تتجه نحو الشمس أما الأخرى فتكافئ القول بأن القوة تتغير كما يتغير مقلوب مربع المسافة .

لكن الناس كانوا قد راوا في نظاراتهم الفلكية التوابع ( الاقمار ) التي تدور حول المشتري . وهذا يشبه جملة شمسية صغيرة وكأن التوابع تنجذب نحو المشتري ، والقمر يدور حول الأرض وينجذب بنفس الكيفية . لكننا نقول أن أي شيء يجذب أي شيء . والفكرة بعدئذ كانت تعميم ذلك والقول بأن كل الأشياء تتجاذب . ولو كان الأمر هكذا فإن الأرض يجب أن تجذب القمر كما تجذب الشمس الكوكب . على أننا نعلم سلفاً أن الأرض تجذب الأشياء — لأنكم جميعاً جالسون بكل أوزان على كراسيكم بالرغم من رغبتكم في أن تسبحوا في الهواء ! ونحن نعلم جميعاً ، من ظاهرة الثقاقل ، أن الأجسام فوق الأرض مجذوبة نحو الأسفل . ولكننا ندين لنيوتن بفكرة أن الثقاقل الذي يمسك بالقمر في مداره ربما كان هو بالذات الذي يجذب الأجسام نحو الأرض .

من السهل أن تحسبوا بكم يهبط القمر في الثانية الزمنية الواحدة . فأنتم تعرفون أبعاد مداره وتعلمون أنه يستغرق شهراً ليدور حول الأرض . ولو حسبتم كم يقطع في الثانية الواحدة لأمكنكم أن تحسبوا بكم يهبط المدار الدائري للقمر تحت الخط المستقيم الذي كان على القمر أن يسلكه لو لم يتخذ الطريق الذي يسير فيه فعلاً . وهذه المسافة تساوي أقل بقليل من ميليمتر ونصف . فالقمر يبعد عن مركز الأرض بما يساوي ٦٠ مرة مما نبعد نحن عنه . ونحن موجودون على بعد ٦٤٠٠ كيلو متر من هذا المركز . فالقمر يقع أذن على بعد ٣٨٤٠٠٠ كيلو متر من مركز الأرض . فإذا كان قانون مقلوب مربع المسافة صحيحاً فإن الأجسام على سطح الأرض يجب أن تهبط خلال ثانية زمنية واحدة

بمسافة تساوي ١٥ مم  $\times$  ٣٦٠٠ ( اي مربع ٦٠ ) لان قوة الجذب تضعف من هنا الى القمر بمقدار ( ٦٠  $\times$  ٦٠ ) مرة بموجب قانون مقلوب مربع المسافة . لكن الجداء ١٥ مم  $\times$  ٣٦٠٠ يساوي تقريبا خمسة امتار . وبالفعل كان معلوما منذ قياسات غاليله أن الاشياء تهبط عند سطح الارض بمقدار خمسة امتار خلال الثانية الزمنية الاولى . هذا يثبت اذن ان نيوتن كان على الطريق الصحيح ولا يجب ان نعود الى الوراء . لان هذا الموضوع الجديد الذي كان يبدو مستقلا تماما ، الا وهو دور القمر على مداره وبعده عن الارض ، قد امكن ربطه بموضوع اخر هو المسافة التي يهبطها ، خلال ثانية واحدة ، جسم يسقط قرب سطح الارض . وهذا يعطينا الثقة الكاملة بأن كل شيء يسير على مايرام .

وبالاضافة الى ذلك تنبأ نيوتن بأشياء أخرى كثيرة . فقد حسب كيف يجب ان يكون شكل المدارات بموجب قانون مقلوب المربع ، فوجد أن شكلها يجب ان يكون بالفعل اهليلجيا - وبهذه الصورة حصل على القوانين الثلاثة انطلاقا من اثنين . وفوق ذلك فان عدة ظواهر جديدة قد اكتسبت تفسيرات واضحة . ذلك مثلا شأن ظاهرة المد والجزر : ان هذه الظاهرة ناتجة عن تأثير جاذبية القمر في الارض وفي مياهها .



ان هذه الفكرة قد خطرت لبعض الناس قبلئذ ولكن بقيت الصعوبة التالية : اذا كان القمر يجذب المياه فلا يجب ان يحدث المد سوى مرة واحدة في اليوم تحت القمر ، لكننا نعلم ان المد يحدث وسطيا مرة كل اثنتي عشرة ساعة ، اي مرتين في اليوم . كما خطرت لآخرين نظرية اخرى تؤدي الى نتيجة مغايرة . وبموجب نظريتهم يجذب القمر الارض على حساب الماء . لكن نيوتن كان اول من فهم كيف تجري الامور : ان القوة التي يسلطها القمر على الارض والماء هي نفسها من اجل المسافة نفسها ؛ لكن الماء ( انظر الشكل ٤ ) في المنطقة ع اقرب الى القمر من الارض الصلبة وابتعد منها عن القمر في المنطقة س . فالماء في ع اشد انجذابا من الارض الصلبة بينما هو ، في س ، اقل انجذابا منها . وبموجب ذلك فان مجموع هذين الامرين هو الذي يولد المد المضاعف .

الواقع ان الارض تدور هي ايضا كما يفعل القمر . وان القوة التي يسلطها القمر على الارض هي قوة متوازنة . ولكن ماهي القوة الاخرى التي توازنها ؟ انها ناتجة من واقع ان الارض ترسم هي ايضا دائرة كما يرسم القمر دائرة ليوافق قوة الجذب التي تسيطر عليها . ومركز الدوران هذا موجود في مكان ضمن الارض . اي ان الارض والقمر يدوران حول مركز مشترك (١) وهذا ما يؤدي الى توازن القوى المتسلطة على الارض الصلبة . لكن الماء في المنطقة س اقل انجذابا الى القمر بينما هو في المنطقة ع اكثر انجذابا ، مما يتسبب في نتوئين ، كل نتوء في جهة . وهكذا تم في نهاية الامر تفسير ظاهرة المد وحدوثها مرتين في اليوم . كما ان اشياء كثيرة اخرى قد توضحت : الارض كروية لان كل شيء ينجذب الى داخلها . انها ليست كروية تماما لانها تدور حول محورها ولان المناطق البعيدة عن هذا المحور قد ابتعدت عنه قليلا لكي تتوازن . ان الشمس والقمر كرويان الخ .

(١) ان هذا المركز هو مركز الثقل ( قل مركز العطالة ) لجسم الارض والقمر معا ، وهو يقع على المستقيم الذي يصل بين مركزيهما ، ولو وجد انسان في المركز المشترك لراى ان الارض والقمر يدوران كلاهما حوله بسرعة دوران واحدة . اما القوة التي توازن قوة التجاذب بين الارض والقمر فهي القوة العطالية ( التي يسميها الفيزيائيون القوة النابذة ) الناتجة من هذا الدوران والتي تكلم عنها المؤلف سابقا . ( المترجم )

وهكذا ، كلما تقدم العلم وغدت عمليات القياس اكثر فاكثر دقة اتضحت بشكل ساطع صحة قانون نيوتن ، واكثر التحقيقات عناية اجريت على توابع ( اقمار ) كوكب المشتري . فلو رصدنا حركات هذه الاقمار بعناية خلال فترات زمنية طويلة لتسنى لنا أن نفحص فيما اذا كان كل شيء يتم وفق نيوتن . لكن ذلك لم يحدث ، لدى التجربة ، كما كان متوقعا . فاقمار المشتري بدت ان لها تسبيقا بثمانية دقائق حيناً وتأخيراً بثمانية دقائق حيناً آخر وذلك بالنسبة لتوقيت زمني تم حسابه بموجب قوانين نيوتن . وقد لوحظ أن التسبيق يحدث عندما يكون المشتري اقرب الى الارض ، والتأخير عندما يكون ابعد عنها ، وهذا امر عجيب ! لكن اولوس رومر ( فلكي دانمركي ١٦٤٤ - ١٧١٠ ) وثق بقانون نيوتن وتوصل الى النتيجة الهامة بأن النور يستغرق فترة زمنية كي يسافر من اقمار المشتري الى الارض ، واننا عندما ننظر الى هذه الاقمار لانراها في المكان الذي توجد فيه فعلا حين نراها ، ولكن نراها في المكان الذي كانت فيه قبل فترة زمنية هي الفترة التي استغرقها نورها كي يصل اليها منها . فعندما يكون المشتري قريبا منا فان النور يستغرق للوصول اليها فترة اقصر من الفترة التي يستغرقها عندما يكون المشتري بعيدا عنا . وعلى هذا الاساس صحح رومر التسبيقات والتأخيرات الملحوظة ، بحسب الفرق بين الفترتين المذكورتين . وقد استطاع بهذه الصورة حساب سرعة النور ، فكان ذلك اول برهان على ان النور ينتشر بسرعة محدودة (١) .

وهنا اريد ان الفت انتباهكم الى هذه النقطة بالذات ، لانها توضح كيف يمكن استعمال قانون ، اذا كان صحيحا ، لاكتشاف قانون آخر . فاذا كنا على ثقة من قانون ما وبدأ لنا ان شيئا ما قد انحرف عما كنا نتوقع فان هذا الشيء يمكن ان يوحي لنا بفكرة اخرى . فلو اننا ما كنا اكتشفنا قانون التناقل لاحتجنا الى وقت اطول كي نجد سرعة النور لاننا لا نستطيع عندئذ ان نتوقع سلوك اقمار المشتري . ولقد تطور هذا التدرج الى شلال من الاكتشافات ، كل اكتشاف جديد يجلب معه

(١) لقد كانت هذه النقطة في عصر رومر موضع خلاف بين العلماء ، اذ كان بعضهم

يقول بأن النور ينتشر آنيا اي بسرعة لامتناهية في الكبر . ( المترجم ) .

وسائل تعين على اكتشافات أخرى . ومن هنا انطلق الشلال الذي مازال يتدفق منذ اربعمائة سنة ويجري بنا بكل سرعته .

وبرز مشكل آخر : ان الكواكب لا يجب ان ترسم حقا اهليلجات ، لان هذه الكواكب ، وبموجب قوانين نيوتن نفسها ، ليست منجذبة الى الشمس فقط ، بل انها ايضا تتجاذب قليلا فيما بينها ، قليلا جدا ، لكن هذا القليل جدا موجود ولا بد له من ان يحدث تحويرا للحركة . فالمشتري وزحل واورانوس هي كواكب معروفة بضخامتها ، وقد أجرى العلماء الحسابات اللازمة لمعرفة الكميات التي يجب ان تتحور بموجبها مداراتها عن هليلجات كبلر المثالية ، هذه التحويرات الناجمة عن تجاذبها فيما بينها . وبنتيجة الحسابات والارصاد تبين ان المشتري وزحل قد انسجمت معها ، لكن سلوك اورانوس كان عجيبا ، وها هي فرصة أخرى لانتقاد قوانين نيوتن . لكن صبرا ! فلقد اقترح رجلان ، هما آدامس ولوفيرييه<sup>(١)</sup> ، كلا لوحده وفي وقت واحد تقريبا ، فكرة وجود كوكب مجهول يؤثر في حركة اورانوس ؛ وكتب كل منهما الى مرصده يقول : « صوبوا نظارتكم الفلكية في هذا الاتجاه وستجدون هناك كوكبا » . فقال احد المراصد تعليقا على ذلك : « هذا محال ! كيف يمكن لرجل جالس امام قصاصات أوراقه واقلامه ان يدلنا أين يجب ان ننظر لنجد كوكبا جديدا » لكن المرصد الاخر كان اكثر ... ، المهم انه كانت له ادارة أخرى ، فاكتشف نبتون !

هذا وقد ظهر حديثا ، في اوائل القرن العشرين ، ان حركة الكوكب نبتون ليست على مايرام . فنشأ عن ذلك بعض الصعوبات وبقيت دون تفسير حتى اوضح اينشتاين ان في قوانين نيوتن خلافا طفيفا ولا بد من تحويرها .

وهنا يبرز سؤال جديد : الى أي حد يصح هذا القانون ؟ هل يبقى

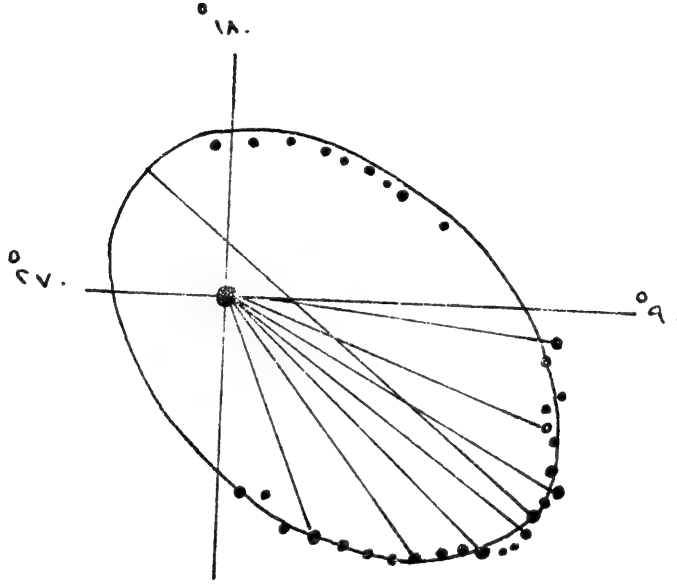
---

(١) جون آدامس ( ١٨١٩ - ١٨٩٢ ) فلكي انكليزي ، اوبان لوفيرييه ( ١٨١١ -

١٨٧٧ ) فلكي فرنسي .



صحيحاً خارج المجموعة الشمسية ؟ ان الكواكب تدور فعلاً ويمكن ان  
تروا على الشكل ٥ المدار الذي ترسمه .



شكل ٥

من الواضح ان الكواكب تتجاذب وتدور في اهليلجات كما نتوقع .  
وقد سجلنا بعض الاماكن في آناء مختلفة تتوالى في اتجاه حركة عقارب  
الساعة . وسترضون عن كل ذلك حتى تكتشفوا ان مركز الدوران  
لا يحتل محرق الاهليلج لكن ينحرف عنه قليلاً . فهل يوجد في هذا  
القانون خلل ؟ كلا ! لكن الله لم يكتب لنا ان نرى هذا المدار مواجهة  
بل جانبياً . فاذا امسكتم اهليلجا وسجلتم موقعي محرقية واملتم الورقة  
قليلاً ونظرتهم اليها اسقاطاً فسترون ان المحرق ليس موجوداً بالضرورة  
في محرق الصورة المسقطه . فالمدار يبدو لنا بهذه الصورة لان مستوية  
مايل في الفراغ .

فالتجاذب التثاقلي بين النجوم هو الذي يجعلها متماسكة في هذه  
المجرة . وان توزع المادة وتقدير المسافات يسمحان بالتأكد وسطياً من  
صحة قانون القوة بين النجوم ... ولقد وجد بالطبع ان قانون مقلوب  
المربع صحيح وسطياً .

ان دقة الحسابات والقياسات ، التي تتناول النجوم ، اقل بكثير من الدقة التي نحصل عليها في المجموعة الشمسية ، وان حقل الثقائل يطال ما هو ابعد من هذه المجموعة ، لانه يلزم هنا ايضا وجود قوة كي يتماسك هذا العالم بمجموعه . وعندما نصل الى ذلك المدى السحيق لانجد طريقة للتحقق من صحة قانون مقلوب المربع ؛ ولكن يبدو ان ليس ثمة شك بأن الثقائل يسود حتى في تلك المناطق النائية وضمن التجمعات النجمية الكبيرة . والمجرات مبعثرة في حدود ٥٠٠ . . . الى ٦٠٠ . . . سنة ضوئية بينما لاتتجاوز المسافة بين الارض والشمس ثمانى دقائق ضوئية .

لدينا اذن اثباتات مباشرة على ان قوى الثقائل تطال هذه الابعاد ، اي مايشكل عشر أو عشر إمتداد العالم . فحقل الثقائل الارضي ليس له حدود ، بالرغم مما تقرأون من ان شيئا ما قد تخلص من حقل الجاذبية . لكنه يتضاءل تدريجيا لدى ازدياد المسافة كما يتضاءل مقلوب مربعها ، اي أنه ينزل الى ربع قيمته كلما ازدادت المسافة بضعفي قيمتها حتى يتلاشى في فوضى الحقول الاشد منه الناجمة عن نجوم أخرى . وكما تفعل النجوم المجاورة لها فان الارض تجذب النجوم الاخرى في مجرتنا ، وكلها معا تجذب المجرات الاخرى فتؤلف معها مجموعة مجرات تسبح في الفضاء الرحيب . فليس لحقل جاذبية الارض الثقالي اذن حدود لكنه يتضاءل شيئا فشيئا وفق قانون مقلوب المربع ويصل على الأرجح الى تخوم الكون النائية .

هذا وان قانون الثقائل يختلف عن قوانين كثيرة سواه . وهو بدون شك هام جدا في تناسق ميكانيكية الكون وله في هذا الصدد تطبيقات عديدة . لكن الواقع ان معرفة قوانين الثقائل ، بعكس معرفة قوانين فيزيائية اخرى ، لاتفيد كثيرا في الشروح العملية . وفي هذا المجال فان المثال الذي اعتمدته ليس نموذجيا . وبهذه المناسبة نقول : ان من المستحيل ، عندما نعتمد مثالا نضربه على شيء ما ، ان نجد مثالا لا يكون غير نموذجي بحال او اخرى .

وهنا تكمن الروعة في هذا العالم . فالالام بقانون التثاقل لاتتعدى تطبيقاته ، التي تخطر لي ، التنقيب الجيوفيزيائي والتنبؤ عن المد والجزر ؛ ويفيد اليوم في دراسة محارك الاقمار الصناعية وسابرات الفضاء التي نرسلها عاليا بين النجوم ؛ واخيرا ، وهذا عصري ايضا ، في حساب مواقع الكواكب ، مما يفيد جدا في التنبؤات التنجيمية التي ينشرها المنجمون في الصحف . عجب امر هذا العالم الذي نعيش فيه والذي لاستخدم تقدمنا العلمي الجديد الا لتخليد سخافات عتيقة عمرها آلاف السنين !

ولابد ان اذكر المجالات الهامة التي يلعب فيها التثاقل بالفعل دورا اساسيا في تطور الكون ، واحد اهمها هو تشكل النجوم الجديدة .

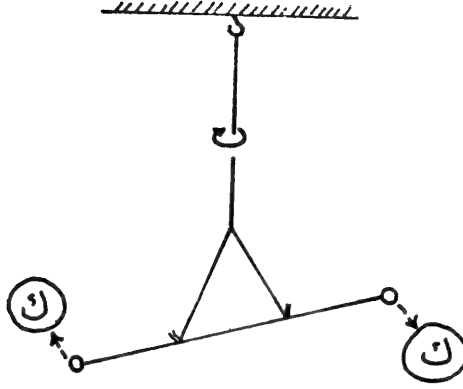
قد تكون نقطة البدء في هذا الحادث نوع من الموجة الصدمية اما الباقي فان التجاذب التثاقلي هو الذي يلمّ الغاز ويرصه اكثر فاكثر حتى تتكاثف هذه الفيوم الغازية الكبيرة وضبابها بشكل كرات ؛ وبما ان هذه الكرات تستمر في التهافت ، كلا على الكل ، فان الحرارة الناجمة عن تراطمها تلهب فيها النار وتحولها الى نجوم .

هكذا تولد اذن النجوم ، عندما يبالغ التثاقل في رص كتلة الغاز . وقد يحدث ان تنفث النجوم لدى انفجارها غبارا وغازات ، ثم تتجمع هذه الغازات وهذا الغبار من جديد لتؤلف بدورها نجوما جديدة - ان هذا يشبه الحركة الدائمة .

لقد برهنت سابقا على ان التثاقل يطال المسافات الكبيرة . لكن نيوتن يقول ايضا بأن كل شيء يجذب كل شيء سواه . فهل يتجاذب اي شيئين حقا ؟ وهل يمكن ان نتأكد من ذلك مباشرة دون ان ننتظر لنرى فيما اذا كانت الكواكب تتجاذب فيها بينها ؟ لقد تحقق كافنديش<sup>(١)</sup> من هذا مباشرة وذلك باستعمال الجهاز المرسوم في الشكل ٦ .

---

(١) هنري كافنديش ، ١٧٢١ - ١٨١٠ ، فيزيائي وكيميائي انكليزي



شكل ٦

كانت فكرته هي ان يعلق ، بخيط دقيق جدا من الكوارتز ، قضيبا يحمل في طرفيه كرتين متماثلتين وان يضع قرب طرفيه كرتين كبيرتين من الرصاص كما يرى على الشكل ٦ . يتسبب عندئذ التجاذب المتبادل بين كل كرية والكرة التي تجاورها في فتل الخيط فتلا ضعيفا جدا لان القوة الثقالية بين الاجسام العادية ضعيفة جدا جدا ؛ ومن زاوية الفتل هذه امكن حساب القوة بين الكرية والكرة . وبواسطة هذه التجربة يقول كافنديش انه « يزن الارض » . على اننا في اسلوب تعليمنا المتحلق والموسوس لاندع طلابنا اليوم يتكلمون هكذا ؛ بل يجب ان يقال : « تقاس كتلة الارض » ففي هذه التجربة المباشرة تمكن كافنديش من قياس القوة والكتلتين والمسافة وان يعين بالتالي الثابت الثقالي ( ث ) الوارد في دستور نيوتن . لكنكم ستقولون : « نعم ، ولكننا لم نتقدم اية خطوة . فنحن نعرف التجاذب ونعرف كتلة الجسم المجذب ونعلم المسافة التي نحن ازاءها ولكننا لم نعلم لكتلة الارض ولا الثابت ( ث ) ولم نعلم سوى حصيلتهما معا » . هذا صحيح . ولكننا بعد قياس الثابت ، كما هو بين الكرية والكرة ، نستطيع ان نحسب كتلة الارض انطلاقا من معرفة قوة جذب الارض .

لقد كانت هذه التجربة ، بصورة لامباشرة ، اول تعيين لوزن او كتلة الكرة الارضية التي نتحملها . وهذه نتيجة مذهشة . ولهذا السبب

اعتقد ان كافنديش قد اسمى تجربته عملية « وزن الارض » ولم يسمها « تعيين ثابت الثقالة » . على انه قد وزن عرضا ، وفي نفس الوقت ، الشمس وسواها لان جاذبية الشمس معروفة ايضا .

هذا ويوجد تأكيد آخر ، بسيط جدا ، لصحة قانون التثاقل وهو يتناول موضوع التناسب الدقيق مع الكتلة . فلو كان الجذب متناسبا بدقة مع الكتلة وكان رد الفعل متناسبا مع القوة ، وبما ان تغيرات السرعة ، في الحركات الناجمة عن قوة ، متناسبة عكسيا مع الكتلة ، لراينا ان جسمين من كتلتين مختلفتين يعانيان تغيرين متساويين للسرعة ( أي تسارعين متساويين ) في حقل ثقالي واحد .

وهكذا فان جسمين مختلفين يسقطان نحو الارض على منوال واحد ، في الخلاء على الاقل ، وذلك مهما كانت كتلتاهما . تلك هي تجربة غاليله القديمة في برج مدينة بيزا المائل . وعلى هذا الاساس مثلا فان أي جسم من الاجسام الموجودة داخل القمر الصناعي يدور حول الارض كأي جسم آخر موجود خارجه . ولهذا السبب يبدو الجسم الداخلي وكأنه معلق من تلقاء ذاته في الفضاء داخل حجرة القمر الصناعي . وهذه النتيجة المثيرة جدا ناجمة عن ان قوة الجذب متناسبة تماما مع الكتلة وان ردود الفعل متناسبة عكسيا معها .

ولكن ماهي الدقة في كل هذا ؟ لقد قام اتفوس (١) عام ١٩٠٩ بذلك القياس كما اجراه مؤخرا ديك (٢) بدقة اكبر بكثير . واتضح صلاح هذا القانون بدقة تقارب واحداً من مليار . فالقوى تتناسب فعلا وبدقة مع الكتلة . ولكن ما العمل للحصول على دقة من هذا المستوى؟ افترضوا انكم اردتم اختبار هذا الصلاح في حالة الجذب الشمسي ، وانتم تعلمون ان الشمس تجذبنا كلنا وتجذب الارض معنا . ولكن افترضوا انكم اردتم ان تعرفوا اذا كان الجذب متناسبا تماما مع العطالة . لقد اجريت

---

(١) البارون لورند فون اتفوس ، ١٨٤٨ - ١٩١٩ ، فيزيائي هنغاري .

(٢) روبرت هنري ديك فيزيائي امريكي .

التجربة في بادئ الامر على خشب الصندل ثم على الرصاص ثم على النحاس ، وفي المدة الاخيرة ، اجريت على البولي اثيلين . فالارض تدور حول الشمس : وهذا مايجعل الاجسام تنفر بعطالتها ، ونفورها يتناسب تماما مع عطالتها ، ولكنها تنجذب نحو الشمس انجذابا يتناسب مع كتلتها الواردة في قانون التناقل . وعلى هذا الاساس اذا كان جسمان منجذبين الى الشمس ونافريين في نفس الوقت بالعطالة ولكن بمعدلين مختلفين فان احدهما سيكون بالنتيجة منجذبا الى الشمس والاخر نافرا عنها . فاذا ثبتناهما في طرفي قضيب معلق بدوره بخيط من الكوارتز ، كما في تجربة كافنديش ، فسرى عندئذ ان الخيط ينفتل نحو الشمس . لكن الخيط لاينفتل ، لدى التجربة ، بالدقة المتوقعة ، ونستدل من ذلك ان جذب الشمس للجسمين متناسب تماما مع القوة النابذة التي ليست سوى القوة العطالية . ينتج من ذلك ان الجذب المتسلط على جسم ما متناسب تماما مع عامل عطالته اي مع كتلته .

وهنا يبرز شيء يلفت النظر بصورة خاصة . ان قانون التربيع العكسي ( اي قانون مقلوب المربع ) يظهر في مجالات علمية اخرى ، في قوانين الكهرباء مثلا . لان الكهرباء تولد ايضا قوى تناسب عكسي مع مربع المسافة بين شحنتين كهربائيتين هذه المرة . يمكن اذن ان نفكر ان مقلوب مربع المسافة له مغزى عميق . لكن احدا لم يتمكن حتى الان من ان يجعل من الكهرباء والتناقل وجهين مختلفين لشيء واحد ؛ فنظرياتنا الفيزيائية ، اي قوانين الفيزياء ، تؤلف اليوم كوما من قطع واجزاء لاتترابط على خير مايرام . اي اننا لانملك بناءً وحيدا يمكن ان نستنتج منه كل شيء ولكننا امام عدة قطع لاتترابط فيما بينها تماما . ولهذا السبب فانا ، في محاضراتي هذه ، مضطر لان اظهر لكم الخواص المشتركة لمختلف قوانين الفيزياء ، لا ان احدثكم عن ماهية قانون الفيزياء . فنحن لم ندرك بعد الوشائج التي تربط بين شتى القوانين . ولكن الغريب هو ان نجد شيئين متطابقين في اثنين من هذه القوانين . ولنعد الى الكهرباء .

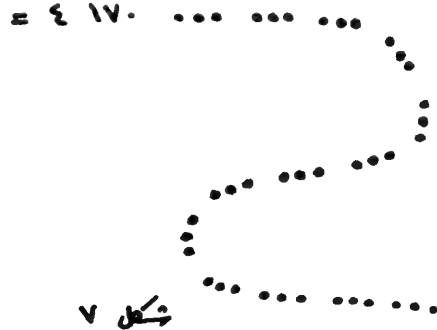
ان القوة الكهربائية تتغير مع المسافة كمقلوب مربعها لكن الشيء الجدير

بالملاحظة هو الفرق الهائل بين شدة القوى الكهربائية وشدة القوى الثقالية فمن أراد أن يصنع كهرباء وثاقلا انطلاقا من شيء واحد سيري أن الكهرباء أشد بأسا من الثاقل ، لدرجة يصعب معها أن يصدق بوجود أصل مشترك للثنتين . ولكن كيف استطيع أن أوكد أن احدهما أشد بأسا من الاخرى؟ ان هذا يتعلق بكمية الشحنة التي لديكم وبكمية الكتلة . فليس من الممكن أن نتكلم عن شدة الثاقل بالقول : « آخذ قطعة من حجم معين » ، لان **المتكلم** هو الذي يختار الحجم . فاذا حاول أن يحصل على شيء ما من انتاج الطبيعة فان العدد البحت الذي يعبر عن كمية هذا الشيء لاشأن له بالسنتمترات او بالسنوات ولا بابعادنا الخاصة ؛ ويمكن أن نتوصل الى ذلك بالطريقة التالية . ناخذ جسيما عنصريا كالالكترون ، ولو اخذنا جسيما آخر لما اختلفت النتيجة كثيرا . ولكن لناخذ الالكترون كمثال . فالقوة التي يتنافر بها الكترونان تتناسب مع مقلوب مربع المسافة بينهما بسبب الكهرباء ، ولكنهما يتجاذبان بموجب مقلوب مربع المسافة أيضا بسبب الثاقل .

سؤال : ماهو حاصل قسمة القوة الكهربائية على القوة الثقالية ؟  
الجواب : موضع في الشكل ٧ .

بين الكترونين

$$\frac{\text{القنافر الكهربائي}}{\text{الجتاذب الثقالي}} = ٤,١٧ \times ١٠^{٩٤}$$



ان حاصل قسمة التنافر الكهربائي على التجاذب الثقالي هو عدد متبوع بذيّل يتألف من نحو ٤٢ صفراً . ان في هذا سر عميقا . من أين يمكن أن يخرج عدد بهذه الضخامة ؟ فلو حصلنا ، يوما ما ، على نظرية تخرج منها هاتان القوتان فكيف يمكن أن تخرجا منها بمثل هذا الاختلاف ؟ ماهي المعادلة التي يتألف حلها من نوعين من القوى ، جذبي وتنافري . بهذه النسبة الهائلة ؟

لقد فتش الناس ، في مجالات أخرى ، عن نسبة تبلغ هذا الكبر . فهم يأملون مثلا في أن يجدوا عددا كبيرا آخر . واذا كنتم تريدون عددا كبيرا فلماذا لا تقسمون قطر العالم على قطر البروتون ؟ ستذهلون لو علمتم أنكم ستجدون بالفعل عددا مع ٤٢ صفراً . وهنا يتقدم الاقتراح المثير بأن نسبة القوى الكهربائية الى القوى الثقالية هي نسبة قطر العالم الى قطر البروتون . لكن العالم هو الان في توسع وهذا يعني أن ثابت الثقائل (ث) سيتغير بمرور الزمن . وهذا ، بالرغم من امكانية حدوثه ، لا يوجد ما يثبت واقعيته . وفي الواقع يوجد عدة أشياء تشير الى أن ثابت الثقائل لم يتغير . وما زال سر هذا العدد الهائل خافيا تماما .

ولكي ننتهي من نظرية الثقائل لابد أن أضيف شيئين . أولهما ان آينشتاين اضطر الى تحويل قوانين الثقائل بموجب مبادئه في النسبية . وأول هذه المبادئ يقول : لاشيء يمكن أن يقع آتيا . بينما يقول نيوتن بأن القوة تؤثر آتيا . فكان على آينشتاين أن يعدل قوانين نيوتن . لكن هذه التعديلات ليس لها سوى آثار ضعيفة . وأحد هذه الآثار يتلخص في أن جميع الكتل في حالة انجذاب ؛ وبما أن للضوء طاقة والطاقة تكافئ الكتلة ، فان الضوء في حالة انجذاب . وعلى هذا الاساس فالضوء المار بالقرب من الشمس لابد أن ينحرف : وهذا واقع . والقوة الثقالية تتحور قليلا هي أيضا وبالقدر اللازم تماما لاحتواء الخلل الملحوظ في حركة كوكب عطارد .

واخيرا فيما يخص قوانين الفيزياء في سلم الصغار فقد وجد ان سلوك المادة في هذا المجال يختلف كثيرا عما هو في سلم الكبار . فكيف



تصرف المادة في سلم الصفائر اذن ؟ ذلك هو موضوع مايسمى بالنظرية الكمومية للتناقل . على انه لا يوجد في الوقت الحاضر نظرية كمومية للتناقل . فنحن لم ننجح بعد تماما في بناء نظرية تتفق مع مبادئ الارتياب ، المبادئ الكمومية .

والآن ستقولون لي : « لا بأس ، لقد تحدثت لنا عن مجريات الامور . ولكن التناقل ، ماهو ؟ ومن اين يأتي ؟ فآنت لن تزعم أن الكوكب يتطلع الى الشمس ليرى على أية مسافة هي ، ثم يحسب مقلوب مربع هذه المسافة ويقرر أن يتحرك وفق هذا القانون » . الواقع انني ، بالرغم من القانون الرياضي الذي اعطيته ، لم اتعرض ابدا الى الآلية . ولكنني سأتقش ذلك في المحاضرة القادمة : « رابطة الرياضيات بالفيزياء » .

وفي نهاية هذه المحاضرة اود ان الح على الصفات المشتركة بين التناقل والقوانين الاخرى التي ذكرناها على الطريق . فصيغة قانون التناقل هي ، أولا ، صيغة رياضية وكذلك صيغة القوانين الاخرى . وهي ، ثانيا ، ليست مضبوطة ؛ وقد اضطر آينشتاين الى تعديلها . ونحن نعلم أنها ليست صحيحة تماما لأنها تحتاج الى أن ندخل فيها النظرية الكمومية . وهذا أيضا شأن القوانين الاخرى . فهي أيضا غير مضبوطة . وهناك دوما جوانب غامضة ، جوانب لا بد أن ندقق فيها أكثر فأكثر . وسواء كان هذا ام لم يكن صفة من صفات الطبيعة فانه على كل حال يكتنف جميع القوانين كما نعرفها اليوم . وربما كان ذلك مجرد نقص في معارفنا .

لكن التناقل بسيط ، وهذا هو الجانب الذي يثير الدهشة أكثر من أي شيء فيه . انها البساطة التي تتجلى في صيغته على كمالها . هذه الصيغة التي لا تترك لمفوض مجالا يضل فيه من قراها . انها البساطة التي تولد الجمال . ان بنيتها بسيطة . لكني لا أقول أن تطبيقاتها بسيطة — فحركة الكواكب والاضطرابات التي تسببها فيما بينها هي أشياء حسابها معقد جدا . وان تتبع جميع النجوم في حركاتها ضمن كوم مكور هو أمر يتعدى امكانياتنا . فهذا القانون معقد في تظاهراته . لكن بنيته الأساسية

بسيطة ، وكذلك مجموعة الافكار التي تحكمه . وهذه جميعا سمات  
تشارك فيها جميع قوانيننا . فهي كلها بسيطة رغم ان تظاهراتها  
الملموسة وافرة التعقيد .

واخيرا تأتي «عالية» قانون التناقل ، بمعنى ان هذا التناقل يمتد  
ليشمل مناطق العالم النائية . وكذلك يأتي فكر نيوتن الذي ، رغم انه لم  
يهتم الا بالمجموعة الشمسية ، استطاع ان يتنبأ بما سيحدث لتجربة  
كافنديش ، تلك التجربة التي تؤلف : بكرتيها المتجاذبتين ، نموذجا مصغرا  
للمجموعة الشمسية ، ذلك النموذج الذي يصبح : بعد تكبيره عشرة ملايين  
مليون مرة ، مجموعة شمسية . ولو تم تكبيره عشرة ملايين مرة اخرى  
لوجدنا مجرات تتجاذب بالضبط كما يريد القانون نفسه . ان الطبيعة  
لا تستعمل سوى الخيوط الطويلة لتنسج النموذج الذي يؤلف بتكراره  
كامل المنسوج ، مما يجعل اصغر قطعة من هذا النسيج تنبئ عن بنية  
القماش كله .

## رابطه الرياضيات بالفيزياء

عندما نتمعن في تطبيقات الرياضيات والفيزياء ندرك ، دون عناء ، فائدة الرياضيات في الامور المعقدة التي تظهر فيها أعداد كبيرة . صحيح في علم البيولوجيا مثلا ، أن عبث الفيروس في الجرثومة ليس رياضيا . لكنكم اذا شاهدتم ذلك من خلال المجهر فسترون فيروسا صغيرا يتمرغ على جرثومة ذات شكل غريب ( انها كلها من اشكال متخالفة ) ، وربما راح ينفث فيها الحموض التي يفرزها . بيد أننا اذا أجرينا التجربة على ملايين الملايين من الجراثيم والفيروسات لاستطعنا ان نعلم الشيء الكثير بعد اجراء حسابات احصائية . يمكن ان نعلم اذا كانت الفيروسات تنمو في الجراثيم ، واذا كان من الممكن أن نحصل على سلالات جديدة وماهي نسب هذه السلالات . وهكذا نتمكن من دراسة الوراثة والاستحالات و . . . الخ .

ولكي نضرب مثلا بسيطا على ذلك تصوروا لوحة واسعة مقسمة الى مربعات للعب الشطرنج او الضاما . ان آلية النقلة ليست من الرياضيات في شيء ولكن ربما أمكنكم أن تتصوروا رقعة شطرنج عملاقة وذات بيوت عديدة جدا وعليها حشد كبير جدا من قطع اللعب . ربما أمكن عندئذ ان نحلل احسن النقلات او أن نحصى على الاقل النقلات الجيدة والنقلات السيئة بعد أن نتمعن النظر ونقوم بمحاكات عميقة . فالمنطق المجرد الذي نستعمله هو من صلب علم الرياضيات . كما أن توصيل أسلاك الالات الحاسبة هو مثال آخر . فالزر الواحد من هذه الآلة ، اذا اعتبر لوحده ، ليس من الرياضيات سواء كبستم عليه أم لا ، وذلك رغم ان علماء الرياضيات يحبون أن ينطلقوا من هذا المنطلق . ولكن لو أردنا أن نعلم ما سيحدث

في جملة كبيرة جدا مع كل ماتحويه من دارات وتوصيلات وازرار فلا بد عندئذ من الرياضيات .

وأريد أن أقول ، منذ الآن ، أن الرياضيات لها بالفعل حقل تطبيق واسع في علم الفيزياء لدى إجراء المناقشة التفصيلية للظواهر المعقدة ، وذلك بافتراض أن القواعد الأولية للعبة معروفة . وهذه النقطة بالذات يمكن أن تأخذ جل وقتي لو لم يكن علي سوى أن أناقش العلاقات بين الرياضيات والفيزياء . لكن هذه المحاضرة ليست سوى حلقة من السلسلة المخصصة أصلا لطبيعة علم الفيزياء ، فليس لدي الوقت لمناقشة مايجري في تلك الظروف المعقدة . وسانتقل راسا إلى موضوع آخر هو بالذات طبيعة القوانين الأساسية .

ونعود إلى لعبتنا في الشطرنج فنطلق اسم القوانين الأساسية على القواعد التي تنظم انتقال القطع . يمكن هنا أن نستخدم الرياضيات ، في وضع معقد ، لاختيار نقلة جيدة ننفذها في ظروف معينة . لكن البساطة العميقة للقوانين الأساسية لا تتطلب سوى القليل من الرياضيات . وبكل بساطة يمكن أن نعبر عنها باللغة العربية .

لكننا في القوانين الأساسية للفيزياء ، وهذا أمر غريب ، نحتاج إلى الرياضيات . وعلى هذا أسوق مثالين . أحدهما لا يحتاج لزاما إلى الرياضيات أما الآخر فيحتاج إليها . والمثال الأول هو القانون المسمى ، في الفيزياء ، قانون فارادي والذي ينص ، في حوادث التحلل بالكهرباء ( يقول بعضهم الكهرليز ) ، على أن المادة التي تتوضع على أحد المسربين متناسبة مع شدة التيار . وهذا يعني أن المادة المتوضعة متناسبة مع الشحنة الكهربائية التي تعبر وعاء التحليل . أن هذا الأمر يبدو رياضيا جدا . لكن الذي يحدث في الواقع هو أن الإلكترونات التي تسري في السلك يحمل كل منها شحنة كهربائية . ولكن لنعرض الموضوع مثلا بالصورة التالية : إذا كان الإلكترون الواحد يتسبب في توزيع ذرة واحدة فان عدد الذرات المتوضعة يساوي لزوما عدد الإلكترونات التي مرت

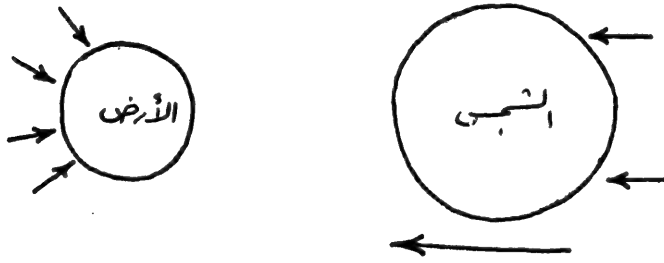
ويتناسب بالتالي مع الشحنة التي عبرت السلك . ان هذه الصورة توضح ان هذا القانون ، ذا المظهر الرياضي ، لا يتطلب أية معرفة عميقة بالرياضيات ؛ فاذا كان القول بأن الالكترون الواحد يوضع ذرة واحدة يمكن ان يعد من الرياضيات فليس هو ، على ما ارى ، من نوع الرياضيات التي اتحدث عنها هنا .

خذوا الآن ، كمثال آخر ، قانون نيوتن في التفاعل الذي ناقشت بعض جوانبه في محاضرتي السابقة . لقد اوردت لكم عندئذ المعادلة :

$$F = \frac{q \times q'}{r^2}$$

لكي ادعشكم بالسرعة التي بواسطتها تستطيع الرياضيات ان تنقل المعلومات . لقد قلت عندئذ ان القوة متناسبة مع جداء كتلي الجسمين وتناسب عكسيا مع مربع المسافة بينهما وان الاجسام تتفاعل مع القوة بتغيير حركتها باتجاه القوة بكمية متناسبة مع القوة ومتناسبة عكسيا مع كتلتها . فهذه الكلمات واضحة ولم يكن لزاما عليّ ان اكتب المعادلة . لكن المعادلة لها ملامح رياضية . ونحن نتساءل كيف يمكن ان يكون هذا قانونا اساسيا . ماذا يفعل الكوكب ؟ وهل ينظر الى الشمس ليعرف على أية مسافة هي ، ثم يقرر ان يحسب ، في آلهة الداخلية الصغيرة ، مقلوب مربع هذه المسافة لكي يعرف بكم يجب ان ينتقل . من المؤكد ان هذا ليس هو التفسير لآلية الدوران . وانتم تريدون ان تعرفوا عنها اكثر من ذلك . كما حاول اناس كثيرون ان يذهبوا الى ابعد من ذلك . وفي عصر نيوتن طرح عليه بعضهم ، بخصوص نظريته ، القول التالي : « ان هذا ليس له اي معنى ! انه لا يفسر لنا شيئا على الاطلاق ! » فكان جوابه : « ان هذا يشرح لكم كيف تتحرك الاشياء وحسبكم ذلك . لقد شرحت لكم كيفية الانتقال لا سببه » . لكن الناس عموما لا يرضون اذا لم تفسر لهم الآلية ؛ وفي هذا الصدد اريد ان اشرح لكم نظرية من جملة النظريات التي طرحت ، املا في ان تشبع فضولكم . انها توحى بأن هذا المفعول ناتج عن عدد كبير من المسببات الفردية ، مما قد يفسر ايضا صيغته الرياضية .

لنفترض أن هذا العالم تجوبه كميات كبيرة من جسيمات تمرق بسرعة كبيرة جدا وتأتي إليه بانتظام من جميع النواحي وتمر بنا عبورا دون أن تصيبنا الا نادرا . ونحن ، وكذلك الشمس ، شفافون تقريبا ازاءها ! تقريبا وليس تماما لان بعضها يصيبنا في الصميم . انظروا عندئذ ما يحدث ( شكل ٨ )



شكل ٨

لو كانت الشمس غير موجودة فان الجسيمات تسقط على الارض من جميع الجهات . لكن الجسيمات النادرة التي تصيبها في الصميم ، طريقة بعد طريقة ، تسبب لها بعض الدفعات . لكن الشمس موجودة وهي تمتص قسما من الجسيمات التي تأتي من جهتها لان بعض الجسيمات لا تخترقها . وهذا ما يجعل اذن عدد الجسيمات التي ترد من جهة الشمس والتي تصادف هذا الحاجز ، اقل من تلك الواردة من الجهات الاخرى . ومن السهل ان نفهم انه كلما كانت الشمس بعيدة كانت نسبة الجسيمات التي تمتصها ضعيفة بالمقارنة مع مجموعة النواحي التي يمكن ان تأتي منها الجسيمات الى الارض ، ذلك لان قرص الشمس ، كما يبدو من الارض ، يتناقص اتساعه بازدياد المسافة بين الارض والشمس - تماما كما يتناقص مقلوب مربع المسافة . يكون نتيجة ذلك ان الارض تدفع عندئذ نحو الشمس ، او قل تنجذب اليها بما يتناسب مع مقلوب مربع المسافة ، وهذا الدفع ناتج عن عدد كبير من الافعال الصغيرة جدا ، اي الصدمات التي تتلقاها ، واحدة تلو الاخرى ، من جميع الجهات . ان هذا التفسير

يخفف كثيرا من الغرابة الكامنة في القانون الرياضي ، لان الآلية الاساسية تصبح عندئذ أكثر بساطة من حساب مقلوب مربع المسافة . يمكن ان يقال في هذه الآلية ، صدمات الجسيمات ؛ انها تقوم بالحساب من تلقاء نفسها .

العيب الوحيد في هذه الفكرة انها لا تتماشى مع وقائع اخرى . والمزعج انكم ، في كل مناسبة تخرعون فيها نظرية ما ، يجب عليكم ان تحلوا جميع نتائجها الممكنة لمعرفة فيما اذا كانت تتنبأ بشيء آخر ونظرية الجسيمات تتنبأ بشيء آخر . بما أن الارض تتحرك فان عدد الجسيمات التي تضربها من امامها يفوق تلك التي تلحق بها من خلفها . ( عندما تركضون تحت المطر فان وجهكم يستقبل من القطرات عددا اكبر من تلك التي تسقط على نقرتكم ) . فالارض ، في حركتها ، تذهب للقاء الجسيمات الآتية من امامها وتهرب من الجسيمات الآتية من خلفها . فهي اذن تصاب من امامها أكثر مما تصاب في ظهرها ، مما يتسبب في نشوء قوة تقاوم حركتها (١) . وهذه القوة من شأنها ان تبطيء حركة الارض على مدارها ، ولاتتيح لها الاستمرار في دورانها حول الشمس منذ ثلاثة او أربعة مليارات سنة ( على الاقل ) وحتى الان . انها نهاية النظرية ! وسيقول كل منكم : « لكنها كانت جميلة ، وقد اراحني من الرياضيات لفترة ، وانا قد اخترع نظرية احسن منها . » ربما تستطيعون ذلك ، وما من انسان يعلم حتى الآن بواطن هذا الامر . ولكن ، منذ نيوتن حتى الآن ، لم يخترع انسان نظرية تشرح الآلية الرياضية لهذا القانون ، الا كانت قولاً قيل من قبل ، او ادخلا لرياضيات اكثر تعقيدا ، هذا اذا خلت من النبؤات التي لاتتحقق . فليس بين ايدينا اليوم نموذج لقانون الثقالة غير صيغته الرياضية .

ولو لم يكن لدينا سوى قوانين من هذا النوع لهان الامر . فنحن كلما توسعنا في الابحاث تكشفنا لنا قوانين جديدة ، وكلما توغلنا في اعماق

---

(١) وهذا يشبه ايضا حال الانسان في الهواء . فجسيمات الهواء ترد عليه وتصدمه من جميع الجهات ؛ وهو عندما يركض يذهب للقاء الجسيمات الآتية من امامه ويهرب من الجسيمات الآتية من ورائه ؛ وعندئذ يشعر تماما بان الهواء يقاوم حركته . ( المترجم )

الطبيعة استفحلت الصعوبات . فكل قوانيننا هي نصوص رياضية ، ومن الصنف المعقد والمجرد . فقانون التناقل ، بالشكل الذي اعطاه نيوتن ، لا يحتاج الا لرياضيات بسيطة الى حد ما . لكن القوانين التي اتت بعدئذ كانت اكثر فاكثر تجريدا وبالتالي كانت الصعوبات تشتد كلما استمر التقدم . لماذا ؟ ليس عندي اية فكرة عن الجواب . لكن واجبي الوحيد هو ان اعترف لكم بهذا الواقع . والناحية المأساوية في محاضرتي هذه هي بالذات اضطراري لان اجعلكم تدركون ان من غير الممكن ان تفسر بشكل جدي جمال قوانين الطبيعة ، وخصوصا ان افعل ذلك لاناس ليس عندهم اية معلومات عميقة في الرياضيات . انا آسف ، فالامر يبدو هكذا .

ربما تقولون : « حسنا . لقد قبلنا انه لا يوجد تفسير لهذا القانون ، لكن قل لنا على الاقل ماذا يكون هذا القانون . ولماذا لاتقوله لنا بالكلمات بدلا من الرموز ؟ فليست الرياضيات سوى لغة ، ونحن نحب ان نتمكن من ترجمة هذه اللغة » . الواقع انني ، بشيء من الصبر ، أستطيع ذلك ، واظن انني قد فعلت شيئا من هذا القبيل . وبإمكاني ان افعل اكثر بقليل فاشرح بتفصيل اكثر ، كيف تدل المعادلة ان القوة تضعف الى ربع قيمتها حينما تزداد المسافة الى ضعفي قيمتها ، وهكذا دواليك . بإمكانني ايضا ان اترجم جميع الرموز الى كلمات ، كي اكون لطيفا مع الناس الخاليي الذهن الجالسين امامي وكلهم أمل ان يفهموا هذه الاشياء . فبعض الناس مشهورون بقدرتهم على ان يشرحوا ، لخالي الذهن وبلغه بسيطة ، اشياء معقدة . وبعدئذ يذهب خالي الذهن هذا ينقب في كتاب بعد كتاب عله يتجنب التعقيدات . لكن التعقيدات لاتلبث ان تمسك به ، ولو استعان بأبلغ المبسطين . لانه سيصادف ، اثناء قراءته وفي وقت ما ، غموضا لايلبث ان يستفحل أمره عليه ، ونصوصا اشد فأشد تعقيدا ، وافكارا اكثر فاكثر استفلاقا على الفهم ولايرى بينها اية رابطة . وعندما يشعر بالضياح يتأمل في ان يجد في كتاب آخر شرحا افضل . . هذا المؤلف نجح تقريبا - ربما نجح آخر تماما !

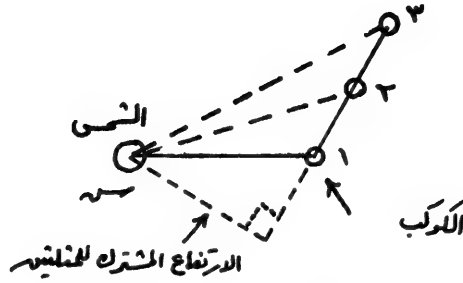
لكني اعتقد ان هذا غير ممكن لان الرياضيات ليست في الواقع لغة



اخرى . ان الرياضيات لغة ومحاكمة ، او قل منطق اضيف الى لغة .  
انها عمليا كل ما ينتج عن تفكير ومحاكمة دقيقة . ان الرياضيات تسمح  
بالربط بين نص وآخر . يمكن ان اقول لكم مثلا ان القوة تتجه نحو  
الشمس . . كما يمكن ان اقول لكم ، وقد قلت ، انني لو رسمت خطا  
من الشمس الى الكوكب ثم خطا آخر بعد فترة معينة ، ولتكن ثلاثة  
اسباع ، فان الكوكب يتحرك بحيث تكون المساحة التي يمسحها هذا  
الخط اثناء هذه الاسباع الثلاثة تساوي تماما المساحة المسوحة اثناء  
الاسباع الثلاثة التالية ، ثم الثلاثة التي تلي وهكذا دواليك طالما بقي  
الكوكب يدور حول الشمس . فباستطاعتي ان اشرح لكم بعناية هذين  
النصين لكنني لن استطيع ان اشرح لكم لماذا هما متكافئان .

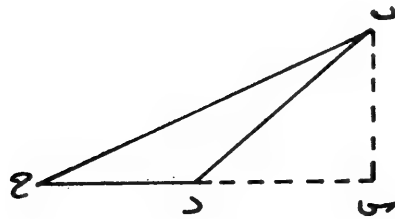
فالطبيعة ، بكل قواعدها هذه والقوانين الغريبة التي فصلتها لكم  
بعناية ، تبدو مليئة بالاشياء المعقدة . لكن هذه الاشياء ، في الواقع ،  
ذات صلات وثيقة فيما بينها . فاذا كنتم لا تستسيغون الرياضيات فلن  
تروا ، في هذا التنوع من الوقائع ، المنطق الذي يسمح لكم بالربط  
بين واقع وآخر .

قد يبدو غير قابل للتصديق ان اتمكن من البرهان على ان مساحات  
متساوية تنمسح اثناء فترات متساوية عندما تكون القوى متجهة نحو  
الشمس . وفي سبيل ذلك سأعتمد ، اذا سمحتم ، الى اعطائكم برهانا  
على ان هاتين الفكرتين هما حقا متكافئتان ، وذلك لكي تتفهموا اشياء  
اكثر من مجرد نصي هذين القانونين . وهكذا سأثبت ان القانونين  
مترابطان وان المحاكمة بحد ذاتها يمكن ان تقود من احدهما للآخر وان  
الرياضيات ليست سوى محاكمة منظمة . وعندها يمكن ان تقدروا اجمال  
العلاقة بين النصين حق قدره . سأبرهن انه اذا كانت القوتان تتجهان  
نحو الشمس فان مساحات متساوية تنمسح في ازمة متساوية .



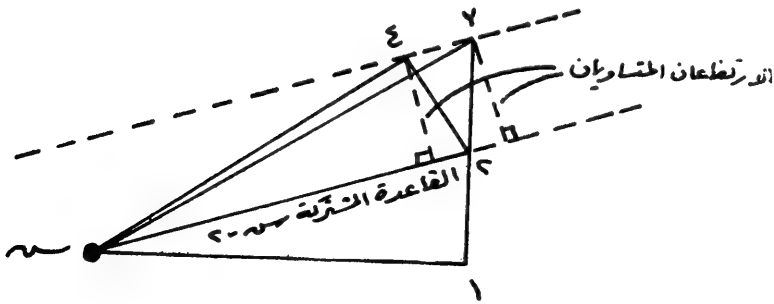
شكل ٩

لنتصور الشمس والكوكب ( شكل ٩ ) ولنفترض ان الكوكب كان يحتل ، في لحظة ما ، المكان ١ وانه انتقل بحيث اصبغ ، بعد ثانية زمنية ، في المكان ٢ . فلو كانت الشمس لاتسلط أية قوة على الكوكب فانه،بموجب مبدأ العطالة لغاليله ، سيتابع طريقة في خط مستقيم . وعلى هذا الاساس كان سيقطع ، في الثانية الزمنية التالية ، مسافة مساوية تماما للمسافة السابقة وعلى المستقيم نفسه حتى يصل الى المكان ٣ . لنبرهن اذن، بادىء ذي بدء واذا لم تتسلط قوة على الكوكب ، أن مساحات متساوية تنمسح في أزمنة متساوية . تذكروا أن مساحة المثلث تساوي نصف جداء قاعدته بارتفاعه وأن الارتفاع هو العمود النازل من رأس المثلث على القاعدة المقابلة له .



شكل ١٠

إذا كانت إحدى زوايا المثلث منفرجة فإن الارتفاع هو العمود بس  
 النازل على القاعدة  $ح د$  . لنقارن الآن بين مساحتي المثلثين المسوحيين  
 لو كانت الشمس لتسلط على الكوكب أية قوة ( شكل ٩ ) . تذكروا أن  
 القطعتين ١ - ٢ و ٢ - ٣ متساويتان . والآن ، هل المساحتان متساويتان؟  
 انظروا الى المثلث المؤلف من الشمس والنقطتين ١ و ٢ . ماهي مساحته؟  
 انها نصف جداء القاعدة ١ - ٢ بالارتفاع النازل من ش على خط  
 القاعدة . وماذا بشأن المثلث الآخر الذي قاعدته الانتقال ٢ - ٣ ؟  
 ان مساحته هي نصف جداء القاعدة ٢ - ٣ بالعمود النازل من ش .  
 وهذان المثلثان لهما ارتفاع واحد : وبما أن قاعدتيهما ، كما رأينا ،  
 متساويتان فإن مساحتيهما ، بالنتيجة ، متساويتان . كل شيء يسير ،  
 حتى هنا ، على مايرام : لو كانت الشمس لتسلط على الكوكب أية قوة  
 فإن مساحات متساوية تنمسخ في أزمنة متساوية . لكن الشمس تسلط  
 في الواقع قوة جذب . فهي خلال المجالين ١ - ٢ - ٣ تجذب الكوكب  
 وتعديل حركته بالانعطاف في اتجاهها الخاص . ولمعالجة هذا الامر يمكن  
 أن نعتبر ، بتقريب جيد ، أن الوضع الوسطي للكوكب ، بين اللحظتين  
 ١ و ٣ ، هو الوضع ٢ وأن تأثير القوة أثناء الفاصل الزمني ٢ - ٣ يتلخص  
 بتعديل الحركة ، بنسبة ما ، في الاتجاه ٢ - ش ( شكل ١١ ) .



هذا يعني ، بالرغم من ان الكوكب ينتقل وفق المستقيم ١ - ٢ وانه ، في حالة عدم وجود القوة ، كان سيتابع طريقة بنفس الاتجاه اثناء الثانية الزمنية التالية ، فان تأثير الشمس يعدل حركته بأن يضيف مركبة تجذب الكوكب في الاتجاه ٢ - ش . فائناء الثانية الزمنية التالية تكون الحركة الحقيقية وسطا بين مايريد الكوكب ان يفعل بنفسه وما تريد الشمس ان تفعل به . وعندئذ ، بدلا من ان يذهب الكوكب نحو المكان ٣ ، يصل في النهاية الى المكان ٤ . يجب علي الان ان ابرهن لكم على ان مساحتي المثلثين ٢ - ٣ - ش و ٢ - ٤ - ش متساويتان . وهذا مؤكد ، لانهما كليهما محصوران بين مستقيمين متوازيين ، اذ ان بعد المكان ٤ عن المستقيم ش - ٢ يساوي بعد المكان ٣ عن المستقيم ش - ٢ ( الممدد ) . فمساحة المثلث ش - ٢ - ٤ تساوي اذن مساحة ش - ٢ - ٣ . لكنني برهنت منذ قليل على ان المثلثين ش - ١ - ٢ وش - ١ - ٣ لهما مساحتان متساويتان ؛ وهذا اذن شأن ش - ١ - ٢ وش - ٢ - ٤ . وهكذا نرى ، خلال حركة الكوكب الحقيقية ، ان المساحتين المسوحتين خلال الثابيتين ، الاولى والثانية ، متساويتان .

وهكذا يتأكد لنا ان المحاكمة تسمح بادراك الارتباط بين واقع ان القوة متجهة نحو الشمس وواقع ان مساحات متساوية تنمسح في ازمة متساوية . انها براعة كبيرة ، اليس كذلك ؟ الحق انني استقيت كل شيء من نيوتن ، واتيت به مباشرة من كتابه «المبادئ» بما فيه الرسوم ، ولم اغير سوى الرموز لانه كتب باللاتينية واستعملت انا الارقام العربية .

ان نيوتن لم يستعمل في كتابه سوى براهين هندسية ، اما نحن اليوم فلا نحاكم بهذه الطريقة بل نقوم بمحاكمة تحليلية بالرموز . فالطريقة الهندسية تستلزم مهارة في رسم المثلثات وفي حساب المساحات . لكن الطرق التحليلية ، بعد ان طرا عليها تحسينات عديدة ، اصبحت سريعة واكثر فعالية . وسأشرح لكم كيف نفعل ذلك بالرموز الرياضية حيث لايلزم ، للوصول الى النتيجة ، سوى كتابة مجموعة من الرموز

لنناقش اذن سرعة تغير المساحة ، ولنرمز لهذه المساحة بـ  $S$  .  
 $\leftarrow$   
 ان المساحة تتغير عندما يدور نصف القطر الشعاعي وسنرمز له بـ  $M$   
 ( لانه يمثل المسافة بين الشمس والكوكب ) . وسنرمز بـ  $N$  لسرعة  
 تغير المساحة وبـ  $\dot{M}$  لسرعة تغير المسافة الشعاعية . هذا وان السرعة  
 المساحية  $N$  هي مركبة السرعة العمودية على نصف القطر مضروبة  
 بنصف القطر . وهذا ما يكتب على الشكل .

$$N = \dot{M} \times M$$

ونتساءل الان اذا كان معدل تغير المساحة يتغير هو نفسه . المبدأ  
 يقول ان هذا المعدل لا يجب ان يتغير . لناخذ تفاضل هذه العلاقة ، وهذا  
 يعود الى وضع نقاط فوق الاحرف في الامكنة المناسبة بموجب طريقة  
 معينة - وهذا كل ما هنالك . وما عليكم سوى ان تتعلموا هذه الطرق ،  
 وهي مجموعة قواعد يرى الناس الرياضيون انها مفيدة جدا في الحسابات .  
 ونكتب :

$$\dot{N} = \dot{M} \times M + M \times \dot{M} = \frac{\dot{Q}}{Q} \times \dot{M}$$

فالحل الاول من الطرف الاوسط يقول بأخذ مركبة السرعة العمودية  
 على السرعة ذاتها ؛ وهذه المركبة معدومة : لان السرعة لها نفس منحناها!  
 اما التسارع ، وهو المشتق الثاني  $\ddot{M}$  للمسافة ، فهو يساوي القوة  
 مقسومة على الكتلة .  
 ان العلاقة السابقة تدل اذن على ان معدل تغير معدل تغير المساحة  
 ( اي معدل تغير السرعة المساحية ) يساوي مركبة القوة العمودية على  
 نصف القطر ( مقسومة على الكتلة ) . لكن اذا كانت القوة هي على  
 منحى نصف القطر ، كما هي الحال هنا ، نجد

$$\ddot{M} \times \frac{\dot{Q}}{Q} = \ddot{N} \quad \text{اي} \quad \ddot{N} = \ddot{M} \times \frac{\dot{Q}}{Q}$$

وهكذا ، كما يقول نيوتن : بما انه لا يوجد قوة عمودية على نصف القطر ، فان هذا يعني ان معدل تغير المساحة لا يتغير . اننا لانتوخي من ايراد هذه الطريقة سوى أن تظهر فعالية الرموز في التحليل . ان نيوتن كان يعرف شيئاً قليلاً عن طريقة الحساب هذه وبرموز تختلف قليلاً عن رموزنا ، لكنه كان يستعمل الطريقة الهندسية لانه كان يحاول جعل كتاباته أسير فهما ؛ وهو الذي اخترع الحساب التفاضلي وهو اسم يطلق على مثل الطريقة التي اريتمكم اياها .

ان هذا المثال يوضح بصورة جيدة العلاقة بين الرياضيات والفيزياء. ففي الفيزياء عندما تستعصي مسألة ما غالباً ما نذهب الى الرياضيين علنا نجد انهم كانوا قد درسوا شيئاً من هذا القبيل وفتحوا طريقاً في المحاكمة يمكن ان نسلكه . لكننا قد نجد انهم لم يدرسوه ، ولا مناص لنا عندئذ من اختراع طريقة خاصة بنا ، نقدمها بعدئذ الى الرياضيين . وكل محاكمة متماسكة توسع دائرة معارفنا في بعض جوانب التفكير ، وعندما نستخلص الزبدة نعطيها الى الرياضيين ، وعندئذ يضعونها في كتبهم كفرع من الرياضيات . فالرياضيات تعطي اذن وسيلة المرور من مجموعة نصوص الى اخرى ، وهذا وضوحاً مفيد جداً في الفيزياء لان لدينا عدة اساليب للكلام عن الاشياء ، والرياضيات تسمح لنا باستخلاص النتائج وتحليل المواقف . والواقع ان مجموع ما يعرفه الفيزيائي ضئيل جداً ، وما عليه سوى ان يتذكر القواعد التي تأخذ بيده من نقطة لآخرى وهذا يكفي لان جميع تلك النصوص عن الازمنة المتساوية ، او القوة على منحى نصف القطر ، وما الى ذلك ، مرتبطة ببعضاً ببعض بروابط المحاكمة .

وهنا تبرز مسألة مهمة . هل يوجد فكرة يمكن ان نستنتج منها كل البنية ؟ هل يوجد في الطبيعة نظام او بنية يسمحان لنا بأن نؤمن بوجود مجموعة نصوص أكثر أساسية وأن بعضها أكثر ثانوية ؟ الواقع انه يمكن ان ننظر الى الرياضيات من زاويتين مختلفتين اسمي اولاهما ، في هذه المحاضرة ، المدرسة البابلية والثانية المدرسة اليونانية . ففي مدارس بابل كان الطالب يتعلم نقطة معينة بدراسة عدد كبير من الامثلة

حتى يدرك القاعدة العامة . وكان يعرف أيضا قسطا لا بأس به من الهندسة وعدة خواص للدائرة ونظرية فيثاغورس ودساتير لحساب سطوح المكعبات والمثلثات ؛ وكان ، فوق ذلك ، يتمتع ببعض المنطق ليمر من احداها للآخرى . وكان يوجد جداول عددية تسمح له بحل معادلات معقدة . اي أن كل شيء كان معدا له كي يقوم بحساب واقعي .

اما اقليدس فقد اكتشف أنه يمكن أن نستنتج ، بترتيب معين ، جميع نظريات الهندسة انطلاقا من مسلمات على درجة كبيرة من البدهة والبساطة . فالتقاليد البابلية - أو ما اسميها هكذا - تدعو الى معرفة جميع النظريات المختلفة وكثيرا من علاقاتها المتبادلة دون أي اكتشاف بأنها كلها يمكن أن تخرج من بضعة مسلمات . واكثر الرياضيات عصرية تركز على المسلمات والبراهين في اطار دقيق من الاتفاق على المسلمات كمسلمات اقليدس بعد ادخال بعض التحسينات عليها ، ثم تشرح كيف ينتج منها كل النظام . فلا تؤخذ مثلا فيها نظرية فيثاغورس ( مجموع مربعي الضلعين القائمين في مثلث قائم يساوي مربع الوتر ) كمسلمة . لكن هذه النظرية تتخذ كمسلمة من وجهة نظر أخرى ، وجهة نظر الهندسة الديكارتية .

علينا اذن اولا ان نقبل ، حتى في الرياضيات ، امكانية الانطلاق من نقاط مختلفة . فاذا كانت المحاكمة تربط بين هذه النظريات جميعا فلا مجال عندئذ ، لدى اختيار المسلمات من بينها ، أن نفضل بعضها على بعض وأن نعتبر « ان هذه المسلمات أساسية أكثر من تلك » ؛ فأنتم لو اعطيتم تلك بدلا من هذه لاستطعتم الحصول على هذه بسلوك المحاكمة في الطريق العاكس . فالوضع يشبه جسرا ذا دعائم كثيرة وقناطر عديدة ، اذا انهار بعضها أمكننا ، في كل الاحوال ، أن نأخذ طريقا أخرى لاعادة الاتصال . والاسلوب الرياضي الحالي ينطلق من بعض افكار خاصة ، تختار كمسلمات باتفاق ما . ثم ينشأ البناء على هذه الاساسات وأن ما اسميته الاسلوب البابلي هو كما يلي : « الواقع انني اعرف هذا ، واعرف ايضا ذاك وذلك ، واقوم بعملي انطلاقا من هنا . وغدا قد انسى ان هذا صحيح ، ولكنني سأذكر شيئا آخر وقد استطيع

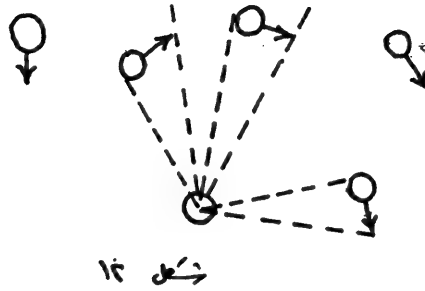
عندئذ ان ابني كل شيء من جديد . ولن ادري تماما من اين يعقل ان ابدا واين يعقل ان انتهى . وسأذكر فقط ما يكفي لكي استطيع ، في اي وقت وبالرغم من خيانة الذاكرة وضياح بعض الاشياء ، ان اعيد البناء كله . »

ان الانطلاق دوما من المسلمات ، في سبيل الحصول على نظريات ، ليس عملية فعالة جدا . فانتم لن تحصلوا على مردود جيد اذا رحتم ، لحل كل مسألة هندسة ، تنطلقون من المسلمات الاولى . صحيح ان باستطاعتكم ان تذهبوا ، في الهندسة ، الى ابعد فأبعد حتى ولو لم تكونوا تملكون في البدء سوى الضروري الضروري . لكن من الاجدى جدا ان تعمل بطريقة اخرى ، لان تقرير أي المسلمات احسن ليس بالضرورة خير طريقة لتدبير الامور عند الحاجة . وفي الفيزياء على الاقل تلزمنا الطريقة البابلية ، لا الاقليدية اليونانية . واليك اسباب ذلك .

ان المهم ، في الطريقة الاقليدية ، هو ان نجعل من المسلمات شيئا اكثر وزنا او أهمية . لكن لتساءل ، في حالة التناقل مثلا ، أي المسلمتين احسن ؟ هل هي ان نقول : ان القوة تتجه نحو الشمس أم ان نقول ان مساحات متساوية تنمسخ في ازمة متساوية ؟ وهل ان احدى الفكرتين اكثر أهمية او اكثر اساسية من الاخرى ؟ فمن وجهة نظر معينة يكون نص القوة احسن . اذ لو اعطيت القوى استطيع ان اعالج جملة ذات عدة جسيمات مداراتها لم تعد اهليلجية لان نص القوى يدل على تجاذبهما المتبادل . تصبح ، في هذه الحالة ، نظرية المساحات غير صالحة ، مما يجعلني اميل الى الاعتقاد بان نظرية القوى هي التي يجب ان تؤخذ كمسلمة . ولكن ، من جهة اخرى ومن اجل جملة ذات عدد كبير من الجسيمات ، يمكن لمبدأ المساحات المتساوية ان يتعمم كنظرية اخرى ؛ بيد ان نصها معقد وليس فيه من الجمال ما في النص الاصلي ، لكنها على كل حال ابنته الطبيعية . خدوا جملة ذات جسيمات عديدة ولتكن ، مثلا ، المشتري وزحل والشمس وعدة نجوم اخرى تتجاذب بعضا الى بعض وانظروا اليها من بعيد ، أي من



حيث ترون منظرا اسقاطيا ( شكل ١٢ ) . سترون ان الجسيمات تنقل في اتجاهات شتى . لتركز اهتمامنا على احد هذه الجسيمات ولنحسب



المساحة المسوطة بنصف القطر الذاهب من هذا الجسيم الى كل واحد من الجسيمات الاخرى . لنعط ، في هذا الحساب ، للجسيمات اهمية متناسبة مع كتلتها: اذا كان جسيم اقل بمرتين من جسيم اخر ، نحسب المساحة التي تخصه اكبر بمرتين ، وهكذا نضرب كل مساحة ممسوحة بعدد يتناسب مع كتلة الجسم الذي يمسحها . فاذا جمعنا عندئذ هذه المساحات كلها سنجد ان **المجموع الذي نحصل عليه لا يتغير بمرور الزمن** . يسمى هذا المجموع العزم الحركي او العزم الزاوي للجملة ويسمى هذا القانون انحفاظ العزم الزاوي ، وكلمة انحفاظ تعني ببساطة ان هذه الكمية لا تتغير .

ينتج من هذا القانون ماييلي . لنتصور كومة نجوم تتهافت بعضا نحو بعض لتشكل سديما أو مجرة . ففي البدء تكون بعيدة جدا عن المركز في نهاية انصاف اقطار طويلة وتتحرك ببطء فتمسح مساحات صغيرة . وعندما تتقارب تتناقص ابعادها عن المركز حتى تصبح صغيرة جدا عندما تجاور المركز ، وعندها يجب عليها ان تتحرك بسرعة كبيرة لتمسح المساحات نفسها . وهكذا ترون ان النجوم كلما كانت قريبة من المركز كلما كان دورانها اسرع . وهكذا يتفسر وسطيا الشكل العام

للسدم الحلزونية . وبالمحاكمة ذاتها يمكن ان نفهم كيف يفعل المنزلق على الجليد عندما يدور حول نفسه . فهو ينطلق وساقه منفرجة ومفتوحة فيدور ببطء اول الامر ثم يقرب ساقه المنفرجة من الاخرى فيسرع في دورانه . فعندما تكون ساقه مفرجة تساهم في مسح مساحة مافي الثانية الزمنية وعندما يطويها يدور بسرعة أكبر كي تمسح نفس المساحة في نفس الزمن . انني لم أبرهن هذه النظرية على المنزلق : فهو يستخدم قوته العضلية وهي تختلف عن قوة التثاقل ومع ذلك فهي تصلح عند المنزلق أيضا .

وهكذا نجد قضية اخرى . فكثيرا ما تقع في أحد مجالات الفيزياء، كقانون التثاقل هنا ، على مبدأ تظهر صلاحيته في مجال اوسع جدا من ذلك المجال الذي برهنا فيه عليه . ان هذا لا يحدث في الرياضيات ، فهناك لاتبرز النظريات في غير المجالات المقدّر لها ان تصلح فيها . وبتعبير آخر، اذا قلنا ان قانون المساحات المتساوية هو مبدأ من الفيزياء في مجال التثاقل استطعنا ان نستنتج منه انحفاظ العزم الزاوي ولكن في التثاقل فقط . ومع ذلك نكتشف تجريبيا ان انحفاظ العزم الزاوي هو شيء اعم بكثير . وقد وضع نيوتن مبادئ أخرى سمحت له بالحصول على القانون العام لانحفاظ العزم الزاوي . لكن مبادئ نيوتن هذه خاطئة . لا يوجد قوى ، كل ذلك هراء ، الجسيمات ليس لها مدارات ، وهكذا دواليك . ومع ذلك فان انحفاظ العزم الزاوي ، كما اتى من قانون المساحات المتساوية ، يبقى صحيحا . فهو ينطبق على الحركات الذرية في ميكانيك الكم ومايزال ، حتى اشعار آخر ، صحيحا حتى اليوم . وهكذا يوجد مبادئ عليا تسيطر على جميع القوانين ، واذا ربطنا انفسنا ببراهين هذه القوانين اكثر من اللازم ، كأن نعتبر ان هذا القانون لا يصح الا عندما يصح ذاك ، لانتمكن عندئذ من فهم العلاقات فيما بين مختلف فروع الفيزياء . وقد نستطيع يوما ، اذا اكتملت الفيزياء وعرفنا جميع قوانينها ، أن ننطلق من بضع مسلمات ، وسيوجد حتما من يحسن اختيارها لكي نتمكن من استنتاج كل الباقي منها . ولكن ، بما اننا لانعرف جميع القوانين ، نستطيع ان نستغل بعضها كي نحزر نظريات

تجاوز صلاحيتها حدود برهانها . فمن يريد أن يفهم الفيزياء عليه أن يحتفظ في رأسه ، وبرسوخ جيد ، بجميع قوانينها المختلفة والعلاقات المتبادلة فيما بينها ؛ لان القوانين غالبا ماتتسع الى ابعد من المناطق التي ظهرت فيها . ولن تزول اهمية ذلك الا حين تكتشف جميع القوانين .

وجانب آخر مثير ، وغريب جدا ، في العلاقة بين الرياضيات والفيزياء ، يتجلى في القدرة على البرهان ، بواسطة حجج رياضية ، على امكانية الانطلاق من نقاط تبدو مختلفة والحصول مع ذلك على نتيجة واحدة . وهذا واضح : فأنتم اذا كان لديكم عدة مسلمات كان بإمكانكم أن تستبدلوا ببعضها نظريات . لكن الواقع أن كل قانون فيزيائي له بنية حساسة جدا ، بمعنى أن مختلف نصوصه ، رغم تكافؤها ، ذات طابع تختلف كيفيا فيما بينها ، وهذا ما يزيد في قيمتها . ولتوضيح هذه الفكرة سأعتمد الى ثلاثة نصوص لقانون التثاقل ، متكافئة تماما كلها ، وسأريكم كيف تختلف كلها فيما بينها .

النص الاول يؤكد وجود قوى متبادلة بين الاجسام وذلك بموجب المعادلة التي ذكرتها لكم آنفا :

$$F = \frac{G \times K}{r^2}$$

كل جسم واقع تحت تأثير قوة يتسارع ، أي يغير حركته بكمية ما في الثانية الزمنية . ذلك هو النص العادي للقانون وسأسميه قانون نيوتن . ان هذا القانون يقول بأن القوة تتعلق بشيء موجود على مسافة من هنا . ان لهذا القانون اذن ما نسميه طبيعة لا موضعية ، بمعنى أن الفعل ( القوة ) المؤثر في جسم ما يتوقف ، لا على موضع الجسم المنفصل نفسه ، ولكن على موضع جسم آخر يقع على بعد ما .

قد لاتحبون فكرة الفعل عن بعد وتقولون : « كيف يمكن لهذا الجسم هنا ان يعلم ما يجري هناك ؟ » اليكم عندئذ بديلا ، نصا ثانيا غريبا هو

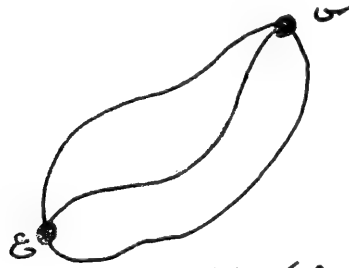
الأخر ، لهذا القانون . انه نص « الحقل » . وسأشرحه لكم بالتقريب رغم صعوبة ذلك . انه نص مختلف كلياً عن النص السابق . ففيه نعلق ، بكل نقطة من الفراغ ، عدداً ( نعم ، ذلك هو المزعج في الفيزياء ، عليها أن تكون رياضية ) ؛ وهذا العدد متغير من نقطة لأخرى . فإذا وضعتم جسماً في نقطة ما ، فإنه سيخضع إلى قوة تتجه نحو المنطقة التي يتغير فيها هذا العدد تغيراً عظيماً . أعطي لهذا العدد اسمه الشائع ، الكمون : فالقوة تتجه اذن في اتجاه التغير الأعظمي للكمون . والقوة ، فوق ذلك ، متناسبة مع معدل تغير الكمون بين نقطة وأخرى . ذلك هو جزء من النص ، لكنه غير كاف ، اذ يجب أن أشرح لكم كيف أعين تغير الكمون . يمكن أن أقول انه يتغير كمقلوب المسافة عن كل نقطة ، لكنني عندئذ أكون قد عدت بكم إلى فكرة الفعل عن بعد . يمكن أيضاً إعطاء نص آخر لا تحتاجون فيه لمعرفة ما يجري خارج منطقة كروية صغيرة تحيط بالنقطة التي فيها القوة . فإذا أردتم معرفة الكمون في مركز الكرة ما عليكم سوى أن تعطوني قيمته على سطحها مهما كانت صغيرة ؛ ولا حاجة بكم لأن تهتموا بما يحدث خارجها ، بل أن تقولوا لي فقط ما يوجد في جوار المركز وما هي الكتلة التي تحويها الكرة . فقاعدة حساب الكمون هي عندئذ كما يلي : ان الكمون في المركز يساوي وسطي الكمون على السطح مطروحاً منه الثابت  $\theta$  ( الوارد في المعادلة نفسها ) ومقسوماً على ضعف قطر الكرة ثم مضروباً بالكتلة الموجودة داخل الكرة إذا كان حجمها صغيراً بصورة كافية ، أي :

$$\text{الكمون في مركز الكرة} = \text{متوسط الكمون على سطحها} - \frac{\theta \times (\text{الكتلة الداخلية})}{2 \times (\text{نصف قطر الكرة})}$$

وهنا ترون مبلغ فرق هذا النص عن سابقه . فهذا يدلني على ما يجري في نقطة ما تبعاً لما يجري في جوارها المباشر ؛ بينما يدل قانون نيوتن ذلك على ما يجري في لحظة ما تبعاً لما جرى في لحظة سابقة جداً ؛ فهو يقول كيف يجب أن نعمل لحظة بعد لحظة ، بينما يدل النص الحالي كيف نقفز في المكان نقطة بعد نقطة . فالنص الثاني هو اذن موضعي وزماني

في آن معا لانه لا يستند الا الى ما يجري في الجوار المباشر . لكن النصين متكافئان تماما من وجهة النظر الرياضية .

يوجد ايضا نص ثالث للقانون يختلف تماما عن سابقيه ، ويتميز عنهما بالفلسفة والافكار الكيفية التي تنبع منه . وقد شرحت ، لمن لا يحب الفعل عن بعد ، كيف يمكنه أن يستغني عنه . وسأدلكم الآن على نص يقع ، فلسفيا ، في الطرف النقيض الآخر . ففيه لا نناقش ، بالمرّة ، كيفية « الانتشار » نقطة بعد نقطة ولحظة بعد لحظة ، بل نجمع كل هذه الامور في نص عام ، كما يلي . اذا كنتم ازاء عدد من الجسيمات وأردتم ان تعرفوا كيف يتنقل احدها من نقطة لآخرى ، فان النص الثالث يدعوكم ان تتخيلوا انتقالا ممكنا يذهب بالجسيم من النقطة الاولى الى النقطة الثانية خلال زمن ما ( شكل ١٣ ) . لنقل أن الجسيم يريد الذهاب من س الى ع خلال ساعة واحدة ، وانكم تريدون معرفة الطريق الذي



شكل ١٣

يسلكه . عليكم عيذبذ ان تتصوروا عدة منحنيات تذهب كلها من س الى ع وان تحسبوا ، من أجل كل منحن ، كمية ما ( لا أريد أن أقول ما هي هذه الكمية ، ولكنني أقول لمن يعرف هذه الكلمات ، أن هذه الكمية هي الفرق بين الطاقة الحركية والطاقة الكامنة ) . فاذا حسبتم هذه الكمية من أجل طريق ما ، ثم من أجل طريق آخر ، فستحصلون ، من أجل كل طريق ، على عدد مختلف . ولا بد ، وضوحا ، من وجود عدد

هو اصغرها جميعا . ان الطريق الذي يتعلق بهذا العدد الاصغري هو الذي يسلكه الجسيم فعلا . وبهذه الصورة نكون قد وصفنا الحركة الفعلية ، الاهليج مثلا ، بنص يتناول المنحني بكليته . وبهذا النص تختفي فكرة السببية التي بموجبها يتحسس الجسيم بالقوة ويتحرك تحت تأثيرها ؛ فهو ، بدلا من هذا ، يهيمن على جميع الطرق ويتحرى كل الامكانيات كي يقرر أي طريق يسلك ويختار الطريق الذي يجعل تلك الكمية أصغرية .

وهكذا نكون قد ضربنا مثلا على كثرة النصوص ، الانيقة كلها ، التي نستطيع بها ان نصف سلوك الطبيعة الفعلي . فمن كان يؤمن بأن الطبيعة يجب أن تطيع مبدأ السببية فليستعمل قانون نيوتن ، ومن آمن باتصافها بمبدأ الاصغرية كان له ما يريد ؛ اما من يتمسك بفكرة وجود حقل موضعي فله أن يطمئن . ولنا ، لو أردنا ، أن نتساءل ايها ، للطبيعة ، أحسن وصفا . الواقع أن هذه الامكانيات كلها ، لو لم تكن متكافئة تماما ولو كانت تؤدي الى نتائج متباينة ، لكفى أن نقوم بتجارب لنعرف كيف تختار الطبيعة سلوكها فعلا . فهناك من يورد حججا فلسفية تؤيد وجهة النظر هذه او تلك . لكن التجارب العديدة علمتنا أنه لا يمكن الركوب الى أي حدس فلسفي ازاء سلوك الطبيعة . بل يجب أن نتحرى ونجرب جميع الامكانيات . لكن جميع هذه النظريات ما تزال ، في الوقت الحاضر ، على **كونها** متكافئة تماما . هذا ، وان تلك الصياغات الثلاث ( قانون نيوتن ، طريقة الحقل الموضعي ، مبدأ الاصغرية ) تقود ، من وجهة النظر الرياضية ، الى نتائج متطابقة تماما . ما العمل اذن ؟ ستقرأون في كل الكتب أن ليس بالامكان أن نقوم باختيار علمي بين هذه الطرائق . صحيح انها متكافئة علميا ولكن يستحيل أن نقول كلمة الفصل لاختيار افضلها . لانه لا يوجد عندنا أية وسيلة حاسمة للتمييز بين نظريات تتطابق نتائجها . على أن بينها ، من وجهة النظر النفسانية ، فروقا كبيرة ، وذلك لسببين . اولهما أن المرء قد يحبها فلسفيا أو لا يحبها ، والعادة هي عندئذ العلاج الوحيد ضد هذا المرض . ثم انها ، ثانيا وخصوصا ، تميز نفسانيا لانها لا تتكافأ عندما نحاول أن نكتشف قوانين جديدة .

وطالما بقيت الفيزياء غير كاملة وحاولنا ان نفهم القوانين المجهولة فان مختلف صيغاتها الممكنة يمكن ان توحى بما يجري في ظروف اخرى .  
وعندها لا تكون هذه الصيغ متكافئة نفسانيا لانها توحى لنا بأراء مختلفة  
عندما نريد ايجاد نص للقوانين في ظروف اعم . فآينشتاين مثلا ادرك ان  
الاشارات الكهربائية لا يمكن ان تنتشر بأسرع من النور ، ثم حزر ان ما  
ادركه هو مبدا عام . ( انه الحدس التخميني الذي استعملناه في العزم  
الزاوي ، حيث به عممنا مبدا الانحفاظ على غير الحالة التي اثبتناه  
فيها ) . واعتقد انه صحيح من أجل كل شيء وبالتالي من أجل التناقل .  
فاذا لم يمكن للاشارات ان تنتشر بأسرع من النور فان القول بالفعل  
الآني للقوى عن بعد هو رأي خاطيء جدا . وهكذا ففي نظرية التناقل  
العامة لآينشتاين يبدو رأي نيوتن في وصف الفيزياء خاطئا بشكل مأساوي  
ومعقدا بشكل رهيب ، بينما تبقى طريقة الحقل الموضعي واضحة  
وصحيحة ، وكذلك مبدا الاصفرية . لكننا لم نستطع بعد ان نرى بينهما  
رأي الفصل .

والواقع انهما ، كليهما ليستا صحيحتين في ميكانيك الكم على  
الشكل الذي أوردناهما فيه . لكن وجود مبدا الاصفرية ليس سوى  
نتيجة لميكانيك الكم تخضع اليها جميع الجسيمات في السلم المجهرى  
( أي مجال الصفائر جدا ) . والقانون الذي نفهمه اليوم ، أحسن فهم ،  
يجمع بين نظريتين تستخدمان مبدا الاصفرية والقوانين الموضعية .  
فنحن نعتقد اليوم ان قوانين الفيزياء ذات طابع موضعي وتخضع الى  
مبدا الاصفرية ولكننا لسنا متأكدين . لو كنتم ازاء بنية ليست صحيحة  
الابشكل تقريبي ، وتشكون ان صدعا قد يحدث فيها ، فانه ، اذا كنتم  
قد بنيتموها على أسس من المسلمات أحسنتم اختيارها ، لن يوجد على  
الاغلب بينها سوى مسلمة واحدة خاطئة وتبقى الاخريات صحيحات ،  
وعندها لن تحتاجوا الا لتعديل طفيف .

لكنكم اذا أسستم هذه البنية على مجموعة اخرى من المسلمات فقد  
يحدث ان تنهار كلها اذا كانت تستند الى العنصر الذي تصدع . فنحن

لا نعرف سلفا ، دون شيء من الحدس ، ما هي احسن طريقة لوصف هذه البنية كي نتمكن من تدبر الامر في الظرف الجديد . فعلينا اذن ان نتذكر دوما جميع الآراء التي يمكن ان نعالج بها امرا ما . ذلك هو السبب الذي من أجله يتعلم الفيزيائيون الرياضيات في المدرسة البابلية ولا يعلقون سوى أهمية قليلة على المحاكمات الصارمة المنطلقة من مسلمات ثابتة .

ذلك هو احد الجوانب المذهلة للطبيعة والذي يتجلى في كثرة الاساليب التي يمكن ان نفسر بها سلوكها . وهذه الامكانية ناتجة ، حصرا ، عن كون هذه القوانين كما هي بالضبط وبالتمام . فنحن ، مثلا ، لم نحصل على الصيغة الموضعية الا لان لدينا قانون مقلوب المربع ؛ فلو كان لدينا مقلوب المكعب لما أمكن ذلك . وفي الطرف الآخر من المعادلة ، حصلنا على مبدأ الاصغرية لان القوة مرتبطة بمعدل تغير السرعة ؛ فلو كانت القوة ، مثلا ، متناسبة مع معدل تغير الموضع ، لا السرعة ، لما توصلنا الى ذلك . ولو غيرتم القوانين كثيرا لتأكد لكم انكم لا تستطيعون ان تعطوا سوى صيغ اقل عددا . لقد كنت دوما اجد عجيبا ان القوانين الحقيقية للفيزياء يمكن ان تصاغ بأشكال عديدة ، ولا ادري سبب ذلك . يبدو انها قادرة على التكيف في عدة قوالب معا .

أود الآن ان ابدي بضع ملاحظات اكثر عمومية حول علاقة الرياضيات بالفيزياء . ان الرياضيين لا يشغلون انفسهم الا ببنية المحاكمات ولا يهتمون فعلا بالشئ الذي يتكلمون عنه . حتى انهم لا يحتاجون لمعرفة عم يتكلمون او ، كما يقولون هم انفسهم ، لا يهمهم صلاح او عدم صلاح ما يفعلون . وسأشرح ذلك . انهم يبدأون باصدار المسلمات ، هذا مثل هذا ، ذاك مثل ذاك . ثم يأتي المنطق فيقوم بعمله دون علم بمعنى كلمتي : هذا وذاك . فاذا كانت المسلمات منصوفا عنها بالتمام والعناية الكافيين فان من يقوم بالمحاكمة لا يحتاج لمعرفة معاني الكلمات كي يستخلص منها النتائج باللغة ذاتها . فاذا استعملت كلمة مثلث في احدى المسلمات ، فسينتج نص حول المثلثات بالرغم من ان الذي أجرى المحاكمة يمكنه ان يجهل ما هو المثلث . وبإمكانى ان اكرر محاكمته منذ البداية ، فأقول :



« المثلث ؟ انه ليس سوى شيء ذي ثلاثة أضلاع ، وهو كذا وكذا » وافهم بعدئذ نتائجه النهائية . وبتعبير آخر ، يهين الرياضيون محاكمات مجردة جاهزة للاستخدام عندما يكون عندكم مجموعة مسلمات في العالم الواقعي . لكن الفيزيائي يعطي معنى لكل جملة في كلامه . وهذا شيء هام جدا لان كثيرا من الناس الذين يأتون الى الفيزياء من الرياضيات لا يدركونه . فالفيزياء ليست الرياضيات والرياضيات ليست الفيزياء . ان احدهما تساعد الاخرى . لكن ، في الفيزياء ، يجب أن تفهموا الارتباط بين الكلمات وعالم الواقع . فعندما تحصلون على نتيجة ما ، عليكم أن ترجموها ، في النهاية ، الى لغة الواقع ، لغة أجهزة من النحاس والزجاج ستستعملونها لاجراء التجارب . وبهذه الصورة فقط يمكن أن تتحققوا من نتائجكم . وهذا ليس من الرياضيات في شيء .

لكن من الحق أن نقول ان المحاكمات الرياضية، المستعملة في الفيزياء، ذات فعالية وفائدة كبيرتين . ومحاكمات الفيزياء هي ايضا مفيدة للرياضيين احيانا .

ان الرياضيين يحبون ان يجعلوا محاكماتهم واسعة الشمول بقدر الامكان . فعندما أقول لهم : « أريد مناقشة الفراغ العادي ، ذي الابعاد الثلاثة » ، يجيبونني : « خذ نظرياتنا في الفراغ الذي عدد أبعاده  $n$  . — لكنني لا أريد سوى حالة الابعاد الثلاثة . — حسنا ، اجعل  $n = 3$  ! » . والواقع عندئذ أن كثيرا من نظرياتهم المعقدة تغدوا أبسط بكثير عندما نطبقها على حالات خاصة ؛ والفيزيائي يهتم دائما بالحالات الخاصة ، لا بالحالات العامة . فهو يتكلم عن شيء معين ، ولا يتكلم عن مجرد شيء لا على التعيين . يريد أن يناقش قانون التثاقل في عالم الابعاد الثلاثة ، لا حالة القوة اعتباطا في فراغ ذي  $n$  بعدا . هناك اذن وبالضرورة عملية اختزال لان الرياضيين قد مهدوا الطريق من أجل صنف من المسائل ؛ وهذا مفيد جدا ، لكن الفيزيائي المسكين يرجع ، في الواقع ، دوما خطوة الى الوراء ويقول : « اعذروني ، لكنكم أردتم أن تحدثوني عن الابعاد الاربعة ... » .

عندما تعرفون عم تتكلمون ، وعندما تعلمون أن بعض الرموز تمثل قوى ، وأن بعضها الآخر يمثل كتلا ، وعطالة ، و . . . الخ ، عندها يمكنكم أن تستخدموا احساسكم الاولى وخبرتكم الحالية في الامور . فأنتم قد اكتسبتم خبرة لا بأس بها وتعلمون على وجه التقريب ما سيحدث . لكن الرياضي المسكين يترجم كل شيء الى معادلات ؛ ولما لم يكن للرموز عنده اي معنى فانه لا يهتدي الا بالصرامة الرياضية والعناية في المحاكات . اما الفيزيائي ، وهو يعرف على وجه التقريب الجواب المنشود ، فيمكنه بشكل ما أن يحزر جزءا من الطريق وأن يتقدم ، بالتالي ، بشيء من السرعة . فالصرامة الرياضية ، مهما كان كمالها ، ليست مفيدة جدا في الفيزياء . لكن هذا ليس سببا لانتقاد الرياضيين . اذ ليس سببا كافيا ان يكون شيء مفيدا في الفيزياء لكي نفرضه كما هو على الرياضيين . فهم يقومون بعملهم الخاص . واذا كنتم تريدون شيئا آخر فعليكم أن تجدوه بأنفسكم .

وفي الختام ينطرح السؤال التالي : هل يجب علينا ، عندما نريد أن نحزر قانونا جديدا ، أن نستخدم احساسنا الاولى وميولنا الفلسفية مثل « أنا لا أحب مبادئ الاصفرية » أو « أنا أحب مبادئ الاصفرية » أو « لا أحب الفعل عن بعد » أو « أحب الفعل عن بعد » ؟ وما هو مدى فائدة الاستعانة بالنماذج ؟ ان النماذج غالبا ما تكون ذات فائدة كبيرة وان غالبية اساتذة الفيزياء يحاولون أن يعلموا كيف يتم استعمال النماذج وكيف نكتسب حسا فيزيائيا بما يمكن أن تسير وفقه الامور . لكن الاكتشافات الكبرى تخرج في النهاية عن نطاق النموذج ولا يعود النموذج ذا فائدة . فقد اكتشف مكسويل مثلا الالكتروديناميك ( أي التحريك الكهربائي أو الكهروستاتيكية ) باستخدام العديد من الدواليب والمسننات الخيالية التي تملأ الفراغ . ولكن عندما نتخلص من كل هذه المسننات وسائر التركيبات في الفراغ فان الامور تسير بالشكل الجيد نفسه . كما ان ديراك<sup>(١)</sup> اكتشف القوانين المضبوطة لميكانيك الكم النسبوي بمجرد

---

(١) بول ديراك فيزيائي انكليزي حاز على جائزة نوبل عام ١٩٣٣ بالاشتراك مع ارفين شرودنجر .

ان حزر المعادلة . ويبدو ان هذه الطريقة ، تخمين المعادلة ، ذات فعالية كبيرة عندما يراد البحث عن قوانين جديدة . وهذا ما يوضح ، مرة اخرى ، ان الرياضيات تعطي وصفا عميقا للطبيعة ، بينما بقيت ، دون فعالية كبيرة ، جميع محاولات وصفها بواسطة الميول الفلسفية او الحس البدهي الآلي .

على ان الشيء الذي ما زال يحيرني هو ان الآلة الحاسبة ، التي تعمل وفق القوانين التي نعرفها اليوم ، تحتاج الى اجراء عدد هائل من العمليات المنطقية كي تكتشف ما يجري في منطقة من الفراغ مهما صغرت خلال فترة من الزمن مهما قصرت . فكيف يمكن ان يحدث كل ما يحدث في هذا الحيز المحدود ؟ ولماذا يلزم هذه الكمية الهائلة من المنطق لتعيين ما سيجري في منطقة ، من المكان - الزمان ، صغيرة جدا ؟ ولهذا السبب فانني كنت دوما اعتقد ان الفيزياء لا تتطلب ، في نهاية الامر ، نصوصا رياضية ؛ اي انه لا شك آت ، في النهاية ، ذلك اليوم الذي نكتشف فيه الآلية الكبرى فتغدو القوانين ذات بساطة كبيرة ، كرقعة الشطرنج رغم تعقيدها الظاهري . لكن هذه تأملات لا تختلف عن تأملات الآخرين - « أحب هذا » ، « لا أحبه » - ويجب ان لا نستبق الحوادث حول هذه القضايا .

ولا اختصار القول استعير كلمات جينز حيث يقول : « يبدو ان المهندس الاكبر رياضي » . فالذين لا يفقهون شيئا في الرياضيات يصعب ان ننقل اليهم الشعور بجمال الطبيعة ، بأعمق ما فيها من جمال . لقد تكلم لك. ب. سنو عن الثقافتين . وأنا اعتقد حقا ان هاتين الثقافتين تفصلان الناس الذين عندهم عن الناس الذين ليس عندهم فهم للرياضيات كاف لان يجعلهم يجتولون جمال الطبيعة مرة واحدة على الاقل .

ان من المؤسف وجوب الرياضيات في هذا الامر وان الرياضيات صعبة لبعض الناس . يروى على ذمة الراوي ان ملكا ، بعد ان طلب من

أقليدس أن يعلمه الهندسة ، تدمر من صعوبتها . فأجابه اقليدس : « لا يوجد طريقة ملكية » . وهكذا الفيزيائيون لا يمكنهم أن يتحولوا عن لغة الطبيعة . فإذا أردتم أن تتعلموا كيف تتعرفون على الطبيعة وتذوقونها فعليكم أن تفهموا لغتها . فهي لا تتجلى إلا بهذا الأسلوب ، ونحن لسنا من الغرور على درجة تسمح لنا بأن نطلب منها أن تغير نفسها قبل أن نتنازل ونهتم بها .

وما من طريقة ، مهما علت ثقافتنا ، تسمح لنا بأن ننقل إلى الأصم ما نشعر به لدى الأصغاء إلى الموسيقى . وكذلك الأمر عندما نحاول أن ننقل لأناس « الثقافة الأخرى » فهمنا للطبيعة . والفلاسفة ، إذا شاءوا ، أن يعطوكم أفكارا كيفية عن الطبيعة . أما أنا فأحاول أن أفصلها لكم . لكن هذا مستحيل . ربما لأن أفق الفلاسفة محدود كما كان محدودا أفق من يتصور أن الإنسان هو مركز العالم .



## مبادئ الانحفاظ الكبرى

عندما ندرس قوانين الفيزياء نكتشف منها عددا كبيرا معقدة ومفصلة: قوانين التثاقل والكهرباء والمغناطيسية والتفاعلات النووية ... الخ . لكن ، من خلال هذا التنوع في القوانين الخاصة ، تسود مبادئ كبرى عامة تبدو هذه القوانين كلها خاضعة لها : انها ، مثلا ، قوانين الانحفاظ وبعض الخواص التناظرية والشكل العام لمبادئ الميكانيك ، وبكل اسف او لحسن الحظ كما رأينا ، واقع انها كلها رياضية .

وفي هذه المحاضرة سأحدث اليكم عن مبادئ الانحفاظ .

ان الفيزيائي يستخدم الكلمات الدارجة في معان خاصة . فكلمتنا قانون انحفاظ تعنيان عنده وجود عدد يمكن حسابه في لحظة معينة ثم ، وبالرغم من ان الطبيعة تخضع الى تغيرات عديدة ، اذا حسبنا هذه الكمية في لحظة لاحقة سنجد انها تبقى دوما على قيمتها ، اي ان ذلك العدد لم يتغير .

لنأخذ ، مثلا ، انحفاظ الطاقة ؛ انها كمية يمكن حسابها وفق قاعدة معينة ونحصل لها دوما على نفس العدد مهما حصل .

انكم تدركون منذ الان ان هذا الامر يمكن ان يكون مفيدا . تصوروا ان الفيزياء ، او بالاحرى الطبيعة ، هي رقعة شطرنج واسعة فيها ملايين القطع واننا نحاول ان نكتشف قواعد اللعبة . فالالهة التي تلعب هذه

اللعبة انما تفعل ذلك بسرعة كبيرة لانستطيع معها اتباعها ولافهمها .  
على اننا ، مع ذلك ، نتوصل الى ادراك بعض القواعد ومن بين تلك التي  
نكتشفها اشياء لا تستدعي رصد كل النقلات .

لنفرض ، مثلا ، انه يوجد فيل واحد على الرقعة ، هو الفيل  
الابيض ؛ بما ان الفيل يتنقل قطريا ويبقى اذن على بيوت من لون واحد  
فاننا اذا صرفنا النظر لحظة عن الرقعة بينما تستمر الالهة في اللعب  
ثم عدنا الى المراقبة فاننا سنتوقع من جديد وجود فيل ابيض على الرقعة:  
قد يتغير مكان هذا الفيل لكن لون بيته يبقى كما كان . تلك بالذات هي روح  
قانون الانحفاظ . ونحن بحاجة بنا لممارسة اللعب كي نكتشف على الاقل  
بعض المبادئ .

صحيح ان هذا القانون الخاص ، في الشطرنج ، ليس صالحا تماما  
بصورة اجبارية . فقد نصرف النظر عن اللعب لفترة طويلة يكون خلالها  
الفيل الابيض قد اخرج من الرقعة وبلغ احد البيادق ( الجنود ) نهاية  
شوطه فرأى الاله اللاعب أن يستبدل به فيلا اسود . وهكذا قد تكون،  
مع الاسف ، بعض القوانين التي نفهمها اليوم ليست صحيحة بالضبط ،  
ولكنني سأشرحها لكم كما نراها في الوقت الحاضر .

لقد قلت لكم اننا نستعمل الكلمات الدارجة بمعان فنية اختصاصية .  
ففي عنوان هذه المحاضرة وردت كلمة « كبرى » في جملة « مبادئ  
الانحفاظ الكبرى » . وهذه الكلمة ليست مصطلحا فنيا : لقد أوردتها  
فقط لاعطي للعنوان رينبا مسرحيا ، وكان بإمكانني ان اقول « قوانين  
الانحفاظ » . ولكن يوجد احيانا قوانين انحفاظ « لايمشي حالها » ،  
اي ان صحتها تقريبية فقط . لكنها مفيدة احيانا ، فيمكن أن نسميها  
قوانين الانحفاظ « الصغرى » .

وسأذكر فيما بعد واحدا أو اثنين من هذه القوانين التي لايمشي  
حالتها . لكن القوانين الكبرى التي سأتكلم عنها هي ، في الوقت الحاضر  
على الاقل ، صحيحة تماما .

أبدأ بأسهلها فهما وهو انحفاظ الشحنة الكهربائية . يوجد عدد ، الشحنة الكهربائية الكلية للعالم بأسره ، لا يتغير مهما تغيرت الأحوال . فإذا فقدنا منه شيئا ، في منطقة ما ، سنجد حتما في منطقة أخرى . فالشيء الذي ينحفظ هو الشحنة الكهربائية بأكملها . كان فارادي<sup>(١)</sup> قد اكتشف ذلك تجريبيا . فقد جرب أن يضع نفسه داخل كرة معدنية كبيرة ، وكان في خارجها مقياس غلفاني دقيق جدا يسمح له بقياس شحنة الكرة ، لأن أية شحنة صغيرة تحدث في الغلفاني أثرا محسوسا . وفي داخل الكرة وضع فارادي تجهيزات كهربائية متنوعة وعجيبة . ثم ولد شحنات كهربائية بذلك قضبان من الزجاج بجلد الهر وشغل مكنات كهربائية ضخمة لدرجة أن داخل الكرة كان يشبه المختبرات التي ترونها في أفلام الرعب .

لكن أثناء كل هذه التجارب لم تظهر أية شحنة على السطح : لم يحدث إذن إنتاج للشحنة . فلو كان قضيب الزجاج قد اكتسب شحنة موجبة بعد ذلك بجلد الهر فإن هذا الجلد قد اكتسب بدوره شحنة سالبة مساوية تماما بحيث بقي المجموع الكلي للشحنتين معدوما ، فلو كانت شحنة قد تولدت داخل الكرة لظهر تأثيرها على الوجود خارجها . فالشحنة الكلية إذن قد انحفظت . وهذه الفكرة مفهومة بسهولة ، ويمكن تفسيرها بنموذج بسيط ليس فيه شيء من الرياضيات . لنفترض أن العالم مكون من نوعين فقط من الجسيمات : الإلكترونات والبروتونات — لقد مضى زمن أمكن أن يظن فيه أن تركيب العالم على هذه الدرجة من البساطة — وأن الإلكترونات تحمل شحنة سالبة والبروتونات شحنة موجبة وبحيث يمكن التمييز بينهما . يمكن أن نأخذ قطعة من المادة ونضيف إليها أو نخرج منها بضعة إلكترونات ولكن لنفترض أن الإلكترونات خالدة فلا تتفجر ولا تختفي — وهذا افتراض بسيط وليس من الرياضيات في شيء — : عندها يبقى حاصل طرح العدد الكلي للإلكترونات من العدد الكلي للبروتونات ثابتا لا يتغير .

الواقع ، في هذا المثال بالذات ، أن العدد الكلي للبروتونات لا يتغير

---

(١) ميكائيل فارادي ، ١٧٩١ — ١٨٦٧ ، فيزيائي انكليزي .



وكذلك لا يتغير العدد الكلي للالكترونات . لكننا ، في الوقت الحاضر ، لن نهتم الا بالشحنة . فاسهام البروتونات هو اسهام في الموجب والالكترونات بالسالب ؛ فلو أن هذه الاشياء لاتنخلق أبدا ولاتدمر كلا لوحده لاصبحت الشحنة الكلية منحفظة . والآن أريد ان اعدد الكميات التي تتمتع بمزية الانحفاظ وأبدا بالشحنة ( شكل ١٤ ) . وفي مواجهة السؤال : « هل تنحفظ الشحنة ؟ » اكتب « نعم » . وهذا التفسير النظري بسيط جدا ولكن ظهر فيما بعد أن البروتونات والالكترونات ليست خالدة ، فالجسيم المسمى نترون ، مثلا ، يتفكك الى بروتون والكترون مع شيء آخر سنراه فيما بعد .

لكن قد ثبت ان النترون حيادي كهربائيا . وهكذا ، وبالرغم من أن البروتونات والالكترونات ليست خالدة ويمكن ان تتولد من النترونات ، فان حصيلة الشحنات لا تتغير : فقد كان لدينا في البدء شحنة تساوي الصفر فاصبح لدينا شحنة تساوي زائد واحد واخرى تساوي ناقص واحد ومجموعهما يساوي الصفر . وسوى البروتون يوجد جسيم آخر ذو شحنة موجبة يشكل مثالا مشابها : انه البوزترون ، شيء بمثابة خيال الالكترون : فهو يشبه الالكترون تماما في مجمله بيد أن شحنته

العزم الزاوي	الطاقة	الغربة	الشحنة الباريوني	العدد	
نعم	نعم	تقريبا	نعم	نعم	منحفظة ( موضعيا )
نعم	لا	نعم	نعم	نعم	تظهر على شكل وحدات
	نعم	؟	؟	نعم	منبع حقل

( ملاحظة : لقد أملا فايتمان هذا الجدول شيئا فشيئا اثناء سياق المحاضرة ونحن نرسمه هنا في شكله التام )

شكل ١٤

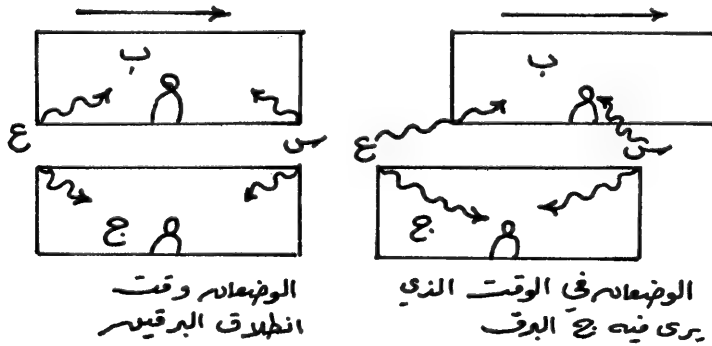
من النوع المغاير وهو يسمى ، خصوصا ، الجسيم المضاد ، لانه عندما يجتمع بالكترون يمكن أن يفنيا بعضهما ويتلاشيا دون انتاج شيء آخر سوى الضوء . وهكذا حتى الالكترونات لوحدها ليست خالدة ، فالالكترون مضافا الى البوزترون لايعطي الا ضوءا . والواقع ان هذا « الضوء » خفي على العين . انه اشعاعات غاما وهي والضوء ، عند الفيزيائي ، شيء واحد ولا يختلفان الا بطول الموجة .

فالجسيم والجسيم المضاد يمكن اذن أن يتفانيا . وليس للضوء شحنة كهربائية لكنكم اذا اخفيتم معا شحنة موجبة واخرى سالبة تساويها فلا تغيرون الشحنة الكلية . فنظرية انحفاظ الشحنة قد تعقدت اذن بعض الشيء لكنها ما تزال نظيفة من الرياضيات . اذ يكفي ان نضيف عدد البوزترونات الى عدد البروتونات ثم نطرح عدد الالكترونات . وهناك أيضا جسيمات أخرى يجب اعتبارها ، كالبروتونات المضادة مثلا ، وهي تحمل شحنة سالبة ، والميزونات بي - زائد وهي موجبة ؛ والواقع ان كل جسيم أساسي في الطبيعة له شحنة ( قد تكون صفرا ) . وما علينا سوى ان نقوم بالجمع حتى نحصل على العدد الكلي ؛ ومهما كان التفاعل بين الجسيمات فان كمية الشحنة الكلية في أحد طرفي التفاعل يجب أن توازن الكمية في الطرف الآخر .

هذا هو جانب من انحفاظ الشحنة . والان نصل الى نقطة مهمة . هل يكفي أن نقول ان الشحنة تنحفظ ام يجب ان نقول اكثر من ذلك ؟ اذا كانت الشحنة تنحفظ لانها منقولة على جسيمات حقيقية فيجب ان يكون لها صفات خاصة جدا . فالكمية الكلية للشحنة ، في علبة ، يمكن أن تبقى على حالها بصورتين . فقد تغير الشحنة مكانها داخل العلبة . لكن هناك امكانية أخرى تختفي بموجبها الشحنة من نقطة وتظهر في نفس الوقت شحنة في نقطة أخرى وبحيث لا تتغير الشحنة الكلية أبدا . وهذه الامكانية الثانية ليس لها نفس الطابع ، لانه ، في

الحالة الاولى ، اذا اختفت الشحنة من نقطة وظهرت في نقطة أخرى فلا بد من أن شيئاً قد عبر في الفضاء الفاصل بين النقطتين . فالاسلوب الاول لانحفاظ الشحنة يسمى الانحفاظ الموضعي للشحنة وهو اكثر تفصيلا من الملاحظة البسيطة « ان الشحنة الكلية لا تتغير » . وهكذا كما ترون نحسن قانوننا اذا كانت الشحنة فعلا تنحفظ موضعيا . والواقع ان ذلك صحيح . هذا ولقد حاولت ، من وقت لآخر ، أن أريكم بعض الامكانيات التي تتيحها المحاكمة وهي ربط فكرة بفكرة أخرى . والان اود ان اتوسع في هذه الفكرة التي ندين بها أساسيا الى آينشتاين والتي تقول بأنه اذا كان شيء منحفظا - وهنا اطبق ذلك على الشحنة - فيجب ان يكون منحفظا موضعيا .

ان هذه الفكرة تستند الى الواقع التالي ، اذا التقى شخصان ، كل منهما في مركبة فضائية ، فلا يمكن لاي منهما ، مهما أجرى من تجارب ، ان يقول ايهما هو المتحرك وايهما الساكن . وهذا ما يسمى مبدأ النسبية: ان الحركة المنتظمة في خط مستقيم هي نسبية ويمكن أن ننظر لكل حادث من زاويتين مختلفتين دون أن نكون قادرين على معرفة ايهما الساكن وايهما الذي يتحرك .



شكل ١٥

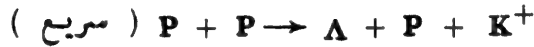
لنتصور مركبتين فضائيتين ب و ج ( شكل ١٥ ) . ولنفترض أن ب يتقدم بالنسبة ل ج . ولاتنسوا أن هذا مجرد رأي وبا مكانكم أن تعتبروا الفرضية الأخرى فتحصلون على الظاهرة الطبيعية نفسها . لنفترض الآن أن الرجل الساكن يريد أن يعلم هل رأى، أم لا، شحنة تختفي في أحد طرفي مركبته وشحنة تظهر في الطرف الآخر وفي نفس الوقت . ولكي يتأكد من حدوث الاثنين في وقت واحد يجب عليه أن لا يقف في المنطقة الامامية من المركبة لانه عندئذ يرى احدى الشحنتين قبل الأخرى بسبب الزمن الذي يستغرقه النور في انتشاره . علينا إذن أن نفترض أن الرجل يقف في منتصف المركبة تماما . وكذلك يفعل الرجل في المركبة الأخرى . لنفترض الآن أن برقا يلتمع في النقطة س دالا على تولد شحنة فيها ، وأن برقا آخر يلتمع في ع وفي نفس اللحظة دالا على اختفاء شحنة منها . لنؤكد مرة أخرى على حدوثهما في نفس الوقت وبالاتساجام مع مبدأ انحفاظ الشحنة . فإذا خسرنا الكترونا في نقطة نربح الكترونا غيره في نقطة أخرى ، لكن شيئا لا يحدث البتة بين النقطتين . وقد ندبر الامر بحيث يلتمع برق في كل نقطة يختفي أو يظهر فيها الكترون لكي نرى ما حدث . يقول ج « ان البرقين قد ظهرا في آن واحد » لانه موجود في منتصف المركبة وأن نور البرق المتولد في س قد وصل اليه آن وصول نور البرق المتولد في ع . ويضيف ج : « نعم ، في اللحظة التي اختفت فيها الشحنة ظهرت شحنة أخرى » . لكن ماذا سيري صديقنا ب في المركبة الأخرى ؟ انه يقول : « كلا ، يا عزيزي ، أنت مخطيء . لقد رأيت أنا س يحدث قبل ع » . ذلك لانه كان يتقدم بمركبته نحو س فيلتقي بالنور الاتي منه قبل أن يلحق به النور الاتي من ع لانه كان يبتعد عن ع : ثم يضيف « كلا ، لقد ظهرت الشحنة في س قبل أن تختفي الشحنة من ع : فانا ، اثناء الفترة الفاصلة بين ظهور الشحنة في س واختفاء الشحنة من ع ، قد ربحت شحنة واحدة ربعا خالصا ، فلا يوجد انحفاظ للشحنة وهذا تكذيب للقانون » . لكن ج يعود فيجيب : « لكنك أنت تتحرك » . فيقول ب : « كيف تعرف ذلك ؟ فانا اظن أنك أنت الذي تتحرك » وهكذا يستمر الحوار . فإذا

كنا غير قادرين ، بالتجربة مهما كانت ، على رؤية فرق في قوانين الفيزياء حسبما يوجد حركة أم لا ، وإذا لم يكن انحفاظ الشحنة موضعيا فلا يوجد سوى رجل واحد يصح عنده انحفاظها ، وهو الرجل الساكن بالمعنى المطلق لهذه الصفة . لكن السكون المطلق مستحيل إذا احتكمتنا الى نظرية النسبية لاينشتاين ؛ وبنتيجة ذلك يستحيل أن نحصل على انحفاظ لا يكون موضعيا . فالطابع الموضعي لانحفاظ الشحنة لاينفصل عن نظرية النسبية ، وهذا ينطبق على جميع قوانين الانحفاظ . ويمكن أن تروا أن هذه المحاكمة تنطبق على كل كمية منحظة . وهناك صفة أخرى مهمة للشحنة ، صفة خاصة جدا لم يمكن حتى الآن تفسيرها بشكل مقبول ، وليس لها أية صلة بقانون الانحفاظ وهي مستقلة عنه تماما . أن الشحنة تتجلى دوما بشكل وحدات ، أي أننا عندما نحصل على جسيم نجد أن له شحنة أو شحنتين ، من النوع الموجب أو السالب .

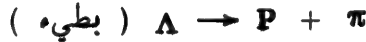
والآن أعود الى الجدول ( شكل ١٤ ) ، بالرغم من كونه لاعلاقة له بانحفاظ الشحنة ، وألفت النظر الى أن الشيء المنحفظ يتجلى بشكل وحدات ، وفي ذلك سر كبير لانه يجعل نظرية انحفاظ الشحنة سهلة الفهم جدا . فليست هي سوى شيء يمكن عده ويتحرك من نقطة لآخرى . وقد تأكد ، اجمالا وعلى الصعيد الفني ، أن الشحنة الكلية ، لجسم ، من السهل تعيينها كهربائيا ، لأن الشحنة تتميز بطابع هام جدا هو كونها منبع الحقلين ، الكهربائي والمغناطيسي ، فهي تقيس انفعال الجسم المشحون بالحقل الكهربائي . وهكذا يجب أن نضيف صفة أخرى للقائمة : أن الشحنة هي منبع الحقل ؛ وبتعبير آخر : أن الكهرباء مرتبطة بالشحنة . موجز القول إذن : أن الشحنة ، التي ننحفظ هنا ، لها أيضا صفتان لا تمتان بصلة الى انحفاظها ، ولكنهما هامتان مع ذلك ، وهما ، أولا ، أنها تعد بالوحدات ، وثانيا ، منبع حقل .

هذا ويوجد عدد كبير من قوانين الانحفاظ . وسأعطيكم الآن امثلة جديدة لقوانين من نوع قانون انحفاظ الشحنة ، لاحتاج الا الى التعداد . أحدها يسمى قانون انحفاظ الباريونات . أن النترون يمكن أن يتحول

الى بروتون . فاذا عدنا كلاهما كوحدة ، نسميها الباريون ، فاننا لانفقد في هذا التحول شيئاً من عدد الباريونات ، فالنترون يحمل وحدة شحنة باريونية أو يمثل باريوناً ، وكذلك يمثل النترون باريوناً آخر - اننا لانعمل اكثر من اختراع اسماء رنانة ! فاذا حدث ، اذن ، التفاعل الذي نتكلم عنه ( تفكك النترون الى بروتون والكترون و نترينو ) فان عدد الباريونات الكلي لا يتغير . هذا ويوجد ايضا تفاعلات أخرى في الطبيعة . فالبروتون مع البروتون يمكن أن يعطي تشكيلة كبيرة من الجسيمات الغريبة منها ، مثلاً ، جسيم لدا  $\Lambda$  وبروتون وجسيم  $\Lambda$  زائد ( ان لدا و  $K$  اسمان اعطيا لجسمين خاصين ) وفق المخطط :



ففي هذا التفاعل نعلم اننا نجمع بين باريونين ولكننا لا نرى، بالنتيجة، سوى باريون واحد ، ولكن من الممكن أن يكون  $\Lambda$  أو  $K$  ، أحدهما فقط ، باريوناً . واذا درسنا ، بعد ذلك ، الجسيم  $K$  نكتشف انه يتفكك ، بدوره ، وببطء شديد ، الى بروتون وبيون  $\pi$  ثم يتفكك البيون اخيراً الى الكترون وشيء آخر .



والذي نراه هنا أن الباريون يظهر من جديد في البروتون وهذا يجعلنا نعتقد أن  $\Lambda$  يحمل عدداً باريونياً يساوي واحد بينما لا يحمل  $K$  سوى عدد باريوني يساوي الصفر . ففي جدول قوانين الانحفاظ كان لدينا الشحنة والآن لدينا ، مع الباريونات ، وضع مماثل يتمتع بقاعدة خاصة يتعين بموجبها عدد الباريونات بعدد البروتونات مع عدد النترونات مع عدد اللمدات مطروح من مجموعها مجموع عدد البروتونات المضادة مع النترونات المضادة .. الخ .

ان انحفاظ عدد الباريونات هو مبدأ تعديدي يتناول وحدات . ويود الفيزيائيون أن يعتقدوا أن الباريون ، تشبهاً بالشحنة ، هو أيضاً منبع حقل . والهدف من رسم الجداول هو محاولة لنحزر قوانين

التفاعلات النووية لان ذلك واسطة سريعة ، من جملة واسطات أخرى ، نسبر بها غور الطبيعة . فيما أن الشحنة هي منبع حقل وبما أن العدد الباريوني يتصرف غالبا كالشحنة فعليه اذن أن يكون أيضا منبع حقل . لكن شيئا من هذا لم يحدث ، مع الاسف ، حتى الآن : انه ممكن ولكن المعلومات التي لدينا ما تزال غير كافية لتأكيدده .

وبالاضافة الى ما ذكرت يوجد مبدأ أو مبدآن تعداديان على هذه الشاكلة من اجل العدد اللبوني مثلا ... الخ لكن فكرتها لا تختلف عما في الباريونات ، بيد أن أحدها مختلف قليلا . فهذه الجسيمات الغريبة ، في الطبيعة ، سرعات تفاعل مميزة ، بعضها سريع وسهل الحدوث وبعضها الآخر بطيء جدا وصعب . ومدى الصعوبة ليس هنا بمعناه الفني في تركيب التجربة وانما في سرعة حدوث التفاعل عندما نجمع بين الجسيمات . فهناك مثلا فرق واضح جدا بين التفاعلين المذكورين اعلاه : تشظي بروتونين على بعضهما وتفكك جسيم لمدا : فالاول أسرع من الثاني بكثير . واذا لم نأخذ بعين الاعتبار سوى التفاعلات السريعة السهلة نجد مبدأ تعداديا جديدا يكون فيه لجسيم لمدا العدد ناقص واحد وللجسيم  $K^+$  العدد زائد واحد وللبروتون العدد صفر . ذلكم هو مانسميه عدد الغرابة ، أو الشحنة العليا . وانحفاظها قاعدة لاتصح الا في التفاعلات السريعة . فالى جدولنا ( شكل ١٤ ) يجب أن نضيف اذن قانون انحفاظ يدعى انحفاظ الغرابة ، أو الشحنة العليا ، وهو قانون شبه صحيح . لكنه قانون مثير جدا للفضول ؛ فنحن نفهم لماذا تدعى هذه الكمية غرابة ، وصحيح انها شبه منحفظة وانها تتمثل بوحدات ، واذا حاولنا فهم التفاعلات القوية الناتجة عن القوى النووية فان انحفاظ الغرابة في هذه التفاعلات القوية قد ارشد بعض الناس الى الاقتراح التالي : ان الغرابة هي أيضا منبع حقل في التفاعلات القوية : ولكننا ، مرة أخرى ، لاندرى عن ذلك شيئا . وانا ما اثرت هذا الموضوع الا لكي اريكم كيف يمكن استغلال قوانين الانحفاظ كي نحزر قوانين جديدة .

وقد اقترح ، من وقت لآخر ، قوانين انحفاظ أخرى من نوع القوانين

التعددية . فالكيميائيون ، مثلاً ، ظنوا ، في زمن ما ، ان عدد ذرات الصوديوم يبقى على قيمته مهما حدث . لكن ذرات الصوديوم ليست خالدة . فبالامكان تحويل ذرات عنصر كيميائي ما الى ذرات عنصر آخر لدرجة أن العنصر الاصلي يختفي تماماً . وقانون آخر ظن صحيحاً خلال فترة زمنية طويلة وينص على أن الكتلة الكلية لاي جسم تبقى ثابتة . لكن هذا يتعلق بالاسلوب الذي نعرف به الكتلة وفيما اذا مزجنا الطاقة بالكتلة . فقانون انحفاظ الكتلة يحتويه قانون اخر سأتكلم عنه الآن : انحفاظ الطاقة .

ان انحفاظ الطاقة هو ، في جملة قوانين الانحفاظ ، اكثرها صعوبة واكثرها تجريداً ، وهو ، مع ذلك أعظمها فائدة . لكنه ، على الفهم ، اصعب من القوانين التي ذكرتها . فالواقع ان انحفاظ الشحنة والقوانين الاخرى ذات آلية واضحة ؛ فهي ، بشكل أو بآخر ، انحفاظ انواع من الاجسام . حتى وان لم يكن هذا التعبير صحيحاً تماماً ، بسبب تولد جسيمات جديدة من جسيمات قديمة ، فان تلك القوانين لا تحتاج ، على كل حال ، لدى تطبيقها ، الا لعملية تعداد بسيطة . لكن انحفاظ الطاقة أعقد قليلاً لان لدينا هذه المرة عدداً لا يتغير مع الزمن لكنه لا يمثل اي جسم معين . واريد الآن ان استعمل تشبيهاً ، ساذجاً بعض الشيء ، كي اعطيكم بعض الشروح .

تصوروا ان اما تركت طفلها وحيداً في غرفة مع ثمانية وعشرين مكعباً لا يمكن تكسيها . فيلعب الطفل بهذه المكعبات طوال النهار وعندما تعود الام تتأكد من بقاء المكعبات الثمانية والعشرين على عددها: وهي في كل مرة تتأكد من انحفاظ المكعبات ! وتستمر هذه العمليات بضعة أيام . وفي احد الايام تعود الام فلا تجد سوى سبعة وعشرين مكعباً : لكنها تجد مكعباً خارج الغرفة تحت النافذة حيث القاه الطفل . فأول شيء عليكم ان تتحققوا منه في قانون انحفاظ هو أن الشيء الذي تهتمون به لم ينتقل الى الجهة الاخرى من الجدار . وقد يحدث العكس اذا جاء طفل آخر يلعب مع الاول ويجلب معه مكعبات اخرى . تلك هي ، وضوحاً ، امور يجب الاهتمام بها عندما نناقش قوانين الانحفاظ .



تصوروا الآن ان الام ، وقد اتت لتعد المكعبات ، لم تجد سوى خمسة وعشرين لكنها شكت ان الطفل قد خبأ ثلاثة منها في علبة صغيرة . فتقول له : « سأفتح هذه العلبة » ؛ ويجب الطفل : « كلا ، لا يجب ان تفتحها » . لكنها ، كام ذكية ، تجيب : « انا اعلم ان وزن العلبة فارغة هو ٦٠٠ غرام وان كل مكعب وزنه ١٠٠ غرام : ولهذا سآزن العلبة » . وهكذا تحسب عدد المكعبات الكلي :

$$\frac{\text{وزن العلبة} - ٦٠٠ \text{ غرام}}{١٠٠ \text{ غرام}} + \text{عدد المكعبات المرئية}$$

فتجد ٢٨ مكعبا . بيد انها ، في يوم آخر ، تقوم بهذا الحساب فلا تجد العدد المتوقع لكنها تلاحظ ان الماء الذي كانت قد تركته في الحوض قد ارتفع مستواه . وهي تعلم ان عمق الماء كان ٦ سنتمترات وان مستواه يرتفع نصف سنتمتر اذا غرق فيه مكعب واحد . وعندئذ تضيف الى معادلتها السابقة حدا آخر :

$$\frac{\text{وزن العلبة} - ٦٠٠ \text{ غرام}}{١٠٠ \text{ غرام}} + \text{عدد المكعبات المرئية}$$

$$\frac{\text{عمق الماء} - ٦ \text{ سم}}{\text{نصف سنتمتر}} +$$

وتجد ، من جديد ، ٢٨ مكعبا .

وهكذا كلما ازداد مكر الطفل ازداد ذكاء الام وراحت تضيف الى معادلتها حدودا متتابة ، تمثل كلها مكعبات ؛ لكنها ، من وجهة النظر

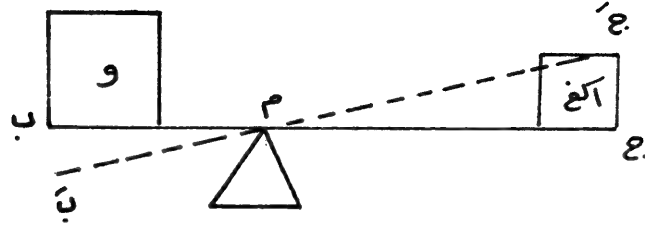
الرياضية ليست سوى حسابات تجريدية لان المكعبات تبقى غير مرئية .  
والان اشرح لكم وجوه التشابه والفروق بين هذا المثال وانحفاظ الطاقة .  
لنفترض ، في البدء ، أن الام لم تر المكعبات في أي من الاحوال . عندئذ  
يختفي الحد « عدد المكعبات المرئية » ، وتستمر الام في حساب عدد كبير  
من الحدود مثل « مكعبات في العلبة » ، « مكعبات في الماء » ... الخ .  
وفرق الطاقة عن ذلك هو عدم وجود مكعبات . فالطاقة ، بعكس المكعبات ،  
لا تتمثل باعداد صحيحة . ولو افترضنا ، جدلا ، ان الام المسكينة قد  
وجدت أن أحد الحدود يساوي ٦ مكعبات و  $\frac{1}{2}$  وان حدا آخر يساوي  
 $\frac{1}{3}$  مكعب وان حدا ثالثا اعطاها ٢١ مكعبا والمجموع ايضا ٢٨ مكعبا ، فان  
ذلك يشبه عندئذ انحفاظ الطاقة .

وهكذا نكون قد اكتشفنا ، من اجل الطاقة ، اسلوب عمل ذا سلسلة  
من القواعد . وانطلاقا من مجموعة قواعد يمكن أن نحسب عددا من اجل  
كل نوع من الطاقة . وعندما نجتمع معا كل هذه الاعداد ، التي تضم مختلف  
انواع الطاقة ، نحصل دوما على المجموع نفسه . لكن ، حسب معلوماتنا ،  
لا يوجد وحدات حقيقية ، لا يوجد كريات صغيرة . فالطاقة هي تجريد  
رياضي بحث : يوجد عدد ، غير صحيح ، يبقى على حاله في أية لحظة  
نحسبه . وليس بإمكانني أن اعطي شرحا احسن من ذلك . والطاقة على  
انواع عديدة ، منها ما يشبه المكعبات في العلبة ، ومنها ما يشبه المكعبات  
في الماء ... الخ . فهناك طاقة الحركة وتسمى الطاقة الحركية ، وطاقة  
نتج عن التفاعل التثاقلي ، والطاقة الحرارية ، والطاقة الكهربائية ،  
وطاقة الضوء ، وطاقة المرونة في النوابض ، الخ ، والطاقة الكيميائية  
والطاقة النووية - وهناك طاقة الجسيم الناتجة عن مجرد وجوده وهي  
طاقة تتعلق مباشرة بكتلته وهي من اكتشاف آينشتاين كما تعلمون حتما ،  
وتحسب بالمعادلة الشهيرة :  $E = mc^2$  ( حيث  $E$  تمثل طاقة الكتلة ،  
و  $m$  تمثل كتلة الجسم وتمثل  $c$  سرعة النور في الخلاء ) .

هذا وبالرغم من وجود هذا العدد الكبير من انواع الطاقة ، أود أن اشرح لكم أننا لانجهل هذا الموضوع كليا واننا نعرف العلاقات الكائنة بين مختلف هذه الطاقات . فما نسميه طاقة حرارية مثلا ، ليس ، في خطوطه العريضة ، سوى الطاقة الحركية للجسيمات التي يتألف منها الجسم . وإن طاقة المرونة والطاقة الكيميائية تنبعان من أصل واحد هو القوى المتبادلة بين الذرات .

هذا وعندما تنتظم الذرات في بنية جديدة يحصل تغير في الطاقة ، وعندما تتغير هذه الكمية فلا بد من تغير كمية أخرى . فإذا قمنا ، مثلا باحراق شيء ما فإن الطاقة الكيميائية تتغير ولكننا نجد عندئذ حرارة في مكان لم يكن فيه حرارة ، لأن المجموع يجب أن يبقى كما كان . كما أن الطاقة المرونية والطاقة الكيميائية تصدران كلتاهما عن تأثير الذرات المتبادل فيما بينها ؛ ونحن نعلم اليوم أن هذه التأثيرات المتبادلة هي مجموع شيئين أحدهما الطاقة الكهربائية والآخر الطاقة الحركية مرة أخرى ؛ لكن الصيغة التي تعبر عن هذا الانضمام هي ، هذه المرة ، صيغة كمومية . وطاقة الضوء هي أيضا ، في الأصل ، طاقة كهربائية لأن الضوء يتفسر اليوم كموجة كهربائية - مغناطيسية . أما الطاقة النووية فلا تتجلى كطاقة من هذه الأنواع ؛ ولا أستطيع أن أقول عنها ، في الوقت الحاضر ، سوى أنها ناجمة عن قوى نووية . وأنا لا أتكلم هنا عن الطاقة المنتوجة فقط . وفي نواة الاورانيوم يوجد كمية من الطاقة وعندما يصدر عن هذه النواة جسيمات ما فإن الطاقة الباقية في النواة تتغير لكن الكمية الكلية للطاقة في العالم لا تتغير ؛ فنجد ، أثناء هذا الاصدار ، كمية حرارة وأشياء أخرى صادرة ، بحيث ينحفظ التوازن الطاقى .

إن قانون انحفاظ الطاقة مفيد جدا في تطبيقات تقنية عديدة . وأعطيك الآن بعض الامثلة البسيطة لاريكم كيف يمكن ، بمعرفة مبدأ انحفاظ الطاقة ودساتير حسابها ، أن نفهم قوانين أخرى . وبتعبير آخر ، كثير من القوانين الأخرى ليست مستقلة وإنما هي وسائل غير مباشرة تعبر عن انحفاظ الطاقة ؛ وأبسطها قانون الرافعة ( شكل ١٦ ) .



شكل ١٦

رافعة يمكن أن تدور حول مرتكزها ولها ذراعان طول أحدهما ١٠ سم والاخر ٤٠ سم ، يجب قبل كل شيء أن أعطي قانون الثقالة : إذا كان لدينا عدة أثقال ، نأخذ وزن كل منها ونضربه بارتفاعه عن سطح الارض ثم نضيف معا حواصل الضرب فنحصل على طاقة الثقالة الكلية. لنفترض ثقل كيلو غرام واحد على الذراع الكبيرة للرافعة وثقلا مجهولا على الذراع الاخرى ؛ يرمز عادة بـ س للمجهول ولكن ل نرمز لوزن هذا الثقل بـ و لكي نأخذ انطبعا بالخروج عن المتداول . المطلوب عندئذ هو معرفة قيمة هذا الوزن لكي تتوازن الرافعة تماما فتتأرجح ببطء ، وعندما تتأرجح بهدوء صعودا وهبوطا فان هذا يعني أن الطاقة تبقى على قيمتها سواء كان ذراع الرافعة موازيا للارض او كان مائلا بحيث تكون قطعة الكيلو غرام على ارتفاع سنتمتر عن الارض . فاذا كانت الطاقة كما هي فان جهة الميل لا أهمية لها اذا لم تسقط الاثقال . فاذا ارتفع الكيلو سنتمرا واحدا بكم ينخفض و ؟ يمكن أن تروا على الشكل ١٦ انه اذا كان طول مـب مساويا ١٠ سم وكان مـج مساويا ٤٠ سم ، فان بـبـ يساوي ١/٤ سم اذا كان جـجـ يساوي ١ سم . لنطبق الآن قانون الانحفاظ على طاقة الثقالة . فعندما تكون الارتفاعات مساوية الصفر في البدء فان الطاقة الكلية تساوي الصفر ايضا . ولدى الميلان نحصل على طاقة الثقالة بضرب وزن الكيلو بارتفاعه اسم ونضيف اليه حاصل ضرب الوزن و المجهول بارتفاعه ١/٤ سم ( ونضع

اشارة ناقص لان الوزن المنخفض تنقص طاقته الثقالية ) . فهذا المجموع يجب أن يساوي الطاقة في البدء ، أي الصفر ، أي

$$1 - \frac{9}{4} = 0 ، فنجد أن و يجب أن يكون ٤ كغ .$$

تلك هي طريقة لفهم هذا القانون الذي تعرفونه جيدا : قانون الرافعة . لكن يجب أن تسجلوا أن ليس فقط هذا القانون ولكن مئات القوانين الفيزيائية يمكن أن يكون لها صلات بهذا النوع من الطاقة أو ذلك . وأنا لم أشرح لكم هذا المثال الا لايضاح هذه الصلات . لكن المزعج ، بالتأكيد، أنه لايتحقق عمليا بكامل الدقة بسبب الاحتكاك عند مرتكز الرافعة على المسند . فلو كان لدي جسم يتحرك ، كرية تدرج ، مثلا ، على لوحة أفقية ، فانها ستتوقف حتما بسبب الاحتكاك . فإين تذهب طاقتها الحركية ؟ الجواب أن طاقتها الحركية قد انتقلت الى طاقة حركية في ذرات اللوحة والكرية . فالعالم الذي نراه في سلم الكبار مثل كرة جميلة حسنة التكور ومصقولة جيدا هو في الواقع معقد جدا عندما ننظر اليه في سلم الصغائر : مليارات من الذرات الصغيرة جدا ذات أشكال متنوعة وغير منتظمة . فهو يشبه حجرة ضخمة ذات شكل فوضوي عندما ننظر اليه عن قرب كاف ، لانه يتألف من هذه الكريات الصغيرة . واللوحة ، كذلك، تتألف من مجموعة متكتلة فوضوية من الكريات الصغيرة .

وعندما نجعل تلك الحصاة العملاقة تدرج على اللوحة فاننا نرى ، بالتضخيم الشديد ، الذرات في حالة اضطراب وهيجان وبعد مرورالجسم تستمر الذرات التي خلفها وراءه في اضطرابها بسبب الصدمات التي تعرضت اليها ؛ فتكتسب اللوحة اضطرابا اضافيا ، أي طاقة حرارية . ويبدو ، لأول وهلة ، ان قانون الانحفاظ خاطيء ؛ لكن الطاقة تحاول أن تتملص عن انظارنا ويجب استعمال موازين حرارة وأجهزة أخرى لتتأكد من أنها موجودة دوما . ونكتشف أن الطاقة تنحفظ دوما مهما تعقدت الحوادث حتى ولو لم نعرف تفاصيل القوانين .

ان أول برهان على قانون انحفاظ الطاقة لم يات من فيزيائي بل من طبيب . وقد أجرى التجربة على الجرذان . فلو أحرقنا كمية من الطعام أمكن ايجاد كمية الحرارة الصادرة . فاذا اعطينا الجرذان بعدئذ كمية مساوية من الطعام فانه يتحول ، مع الاوكسيجين ، الى ثاني اكسيد الفحم ، كما هي الحال لدى احتراقه . وبقياس الطاقة في الحالتين نكتشف ان المخلوقات الحية تتصرف كما تتصرف الكائنات العاطلة . فقانون انحفاظ الطاقة يتحقق في حوادث الحياة كما في الحوادث الاخرى . ولنقل بهذه المناسبة ان مما يلفت النظر ان كل القوانين التي نعرفها في عالم الكائنات العاطلة تصلح ايضا عندما نتحرى صحتها في حوادث الحياة . فلا شيء يدعو الى الاعتقاد بان مايجري عند المخلوقات الحية يختلف حتميا ، فيما يخص قوانين الفيزياء على الاقل ، عما يحدث مع الاجسام العاطلة ، بالرغم من ان الحياة ، على الأرجح ، اشد تعقيدا بكثير . فكمية الطاقة المحتواة في الاغذية والتي تدلكم كم من الحرارة ، من العمل الميكانيكي ... الخ ، يمكن أن نستخلص منه ، تقاس ايضا بالحريرة . فعندما تسمعون كلمة حريرات ، كقياس للقيمة الغذائية للطعمة لاتظنوا انكم تاكلون شيئا يسمى « حريرات » ، لكنها وبكل بساطة كمية الطاقة الحرارية المفيدة المخزونة في الغذاء .

ان الفيزيائيين اناس يميلون الى التعالي ويطنون بانفسهم الذكاء حتى ليطيب للآخرين أن يزئقوهم . وساقول لكم كيف تتوصلون الى ذلك . فقد كان احرى بهم ان يخجلوا من معاملة الطاقة بهذا الشكل ، من قياسها بألف طريقة وطريقة وبأسماء شتى . وان من العبث امكانية قياس الطاقة بالحريرة وبالارغة وبالكثرون - فولت وبالكيلوغرام - متر وبالجول وبالحصان البخاري وبالكيلو واط - ساعة ؛ كل ذلك لقياس الشيء نفسه تماما . ان هذا يشبه تملك المال بالدولارات وبالليرات ... الخ ؛ ولكن ، بعكس الوضع الاقتصادي حيث يكون بين العملات نسب متغيرة ، فان نسب هذه الوحدات الحمقاء ثابتة مكفولة ، كما هو الوضع بين الليرات والفرنكات - الليرة تساوي عشرين فرنكا دوما . لكن الفيزيائي يبالغ في هذا العبث المقصود : فهو ، بدلا من أن يلجأ الى عدد بسيط مثل ٢٠ ،

لديه نسب لامعقولة مثل ١٦١٨٣١٧٨ فرنكا في الليرة . وكان يمكن أن نتوقع من نخبة الفيزيائيين ، النظريين على الأقل ، أن يستعملوا واحدة مشتركة لكننا نجد مقالات يعبرون فيها عن الطاقة بدرجات كلفن وبالمليفا سيكل والان بالفرمي آخر مخترعاتهم . فمن أراد اثبات أن الفيزيائيين هم قوم عاديون كالأخرين أمكنه اثبات ذلك بسخافة هذه الواحداث المختلفة التي يستعملونها كلها لقياس الطاقة .

ان في الطبيعة ظواهر مهمة فيها قضايا طاقة طريفة . فقد اكتشف مؤخرا اشياء اطلق عليها اسم كوازارات ( مفردها كوازار ) وتبعد عنا بمسافات هائلة وتصدر ، على شكل ضوء أو أمواج راديو ، طاقة هائلة لدرجة أننا نتساءل من أين تأتي بها . فاذا صح انحفاظ الطاقة فان حالة الكوازار بعد اصدار هذه الكمية الضخمة من الطاقة يجب أن تختلف عن حالته قبل اصدارها . ويجب أن نبحث اذا كانت هذه الطاقة آتية من طاقة التناقل واذا كان الكوازار قد انهار ثقاليا وتغيرت حالته الثقالية ، أم ان هذا الاصدار الضخم ناتج عن الطاقة النووية . لا احد يعلم ذلك . وقد يخطر لكم أن انحفاظ الطاقة ليس صحيحا . لكننا اذا كنا نجهل الكثير عن شيء مثل الكوازار - ان الكوازارات تقع على مسافات هائلة لدرجة أن الفلكيين يجدون صعوبة كبيرة في رؤيتها - وبدا هذا الشيء على تناقض مع القوانين الاساسية فمن النادر جدا أن تكون القوانين هي الخاطئة بل غالبا ماينتج التناقض عن نقص في معلوماتنا .

لنذكر مثالا مهما آخر عن استعمال انحفاظ الطاقة : هو التفاعل الذي يتم بموجبه تفكك النترون الى بروتون والكترون و نترينو مضاد . فلقد ظن في البدء أن النترون ينقسم الى بروتون والكترون فقط . لكن طاقتي هذين الجسيمين قد قيستا فوجد أن مجموعهما اصغر من طاقة النترون . وكان هناك امكانيتان . احدهما أن قانون انحفاظ الطاقة يمكن أن لا يكون صحيحا ؛ وهذا ما فكر به بور (١) بادئ الامر فاصدر فرضية أن انحفاظ الطاقة صحيح فقط ، وسطيا بصورة احصائية .

(١) نيلس بور ، ١٨٨٥ - ١٩٦٢ ، فيزيائي دانيمركي .

لكننا نعلم اليوم ان الامكانية الثانية هي الصحيحة : فالذي يبدو من عدم انحفاظ الطاقة ناجم عن ظهور عنصر آخر نسميه اليوم النترينو المضاد ، وهو الذي يمتص فائض الطاقة . ولكنه يفيد أيضا في مجالات أخرى كانهفاظ كمية الحركة وقوانين انحفاظ أخرى . وقد تم بعدئذ البرهان التجريبي على وجود النترينو .

ان هذا المثال يوضح نقطة جديدة هي : كيف يمكننا أن نطبق قوانيننا على مجالات لسنا متأكدين منها ؟ ومن أين أتت لنا هذه الثقة التي تسمح لنا بالاعتقاد بأن ظاهرة جديدة تطيع قانون انحفاظ الطاقة لمجرد أن هذا القانون قد تحقق في حالة قبلها ؟ وانتم ، من وقت لآخر ، تقرأون في الجرايد أن الفيزيائيين قد اكتشفوا عدم صحة أحد قوانينهم المفضلة . فهل من الخطأ القول عن قانون ما أنه ينطبق على ظواهر لم تكتشف بعد ؟ انكم لو نفيتم امكانية انطباق القانون على ظواهر لم تكتشف فلن تكتشفوا شيئا أبدا . وإذا لم تعتقدوا بصحة القانون الا بعد الانتهاء من جميع التحريات فلن يمكنكم التنبؤ عن شيء أبدا . فما العلم سوى وسيلة للتقدم الى الامام ولاصدار فرضيات جديدة . ولابد لنا اذن من اقتحام المخاطر ، واقل هذه المخاطر شأنا في الطاقة هو انحفاظها في كل مجال .

كل ذلك يعني بالطبع ان العلم ليس يقينا ؛ فما دمنا نصدر فرضية في مجال لم نفحصه بعد بأنفسنا ، فنحن بالضرورة في حالة شك . لكننا لا بد أن نقدم باستمرار آراء في مجالات مجهولة وإذا لم نفعل لا نستفيد فكتلة الجسم مثلا تتغير اثناء الحركة بسبب انحفاظ الطاقة . والعلاقة بين الكتلة والطاقة تجعل الطاقة الناجمة عن الحركة تتجلى ككتلة اضافية، أي أن وزن الجسم يزداد اثناء حركته بينما كان نيوتن يظن ، على العكس، أن الكتلة تبقى ثابتة . وعندما ظهر خطأ رأي نيوتن قال الناس : « ياله من شيء رهيب . لقد اكتشف الفيزيائيون أنهم مخطئون » .

ولماذا كانوا يعتقدون بصحة آرائهم ؟ ان مفعول الحركة ضئيل جدا ولايظهر محسوسا الا عندما تقترب من سرعة النور . فاذا اطلقتم في الدوران دوامة فان وزنها اثناء الحركة لا يختلف عن وزنها اثناء السكون

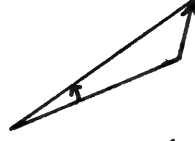


الا بمقدار ضئيل جداً غير محسوس . فهل يجب أن نقول إذن : « إذا لم تكن الحركة أسرع من كذا فإن الكتلة لا تتغير » ؟ كلا ، لأن التجربة إذا لم تتناول سوى دوامات من الخشب أو النحاس أو الفولاذ لكان علينا أن نقول : « أن الدوامات الخشبية والنحاسية والفولاذية إذا لم تتحرك بسرعة أكبر من ... » وهكذا ترون أننا لانعلم جميع الظروف اللازمة للتجربة . فلا نعلم إذا كانت كتلة الدوامة المصنوعة من مادة مشعة تبقى على قيمتها . فلا بد لنا إذن من الاعتماد على فرضيات إذا كنا نريد للعلم أن يكون ذا فائدة . ولكي لا نتقنع بوصف تجارب قديمة فحسب لابد من تعميم تطبيق القوانين في مجالات جديدة أخرى . وليس في هذا أي ضرر اللهم الا أن نكتشف أن هذه القوانين أقل صلاحاً . فإذا كنتم تظنون حتى الآن أن العلم شيء مؤكد فما أنتم تدركون أنكم كنتم على خطأ .

وإذا عدنا الآن الى جدولنا في قوانين الانحفاظ ( شكل ١٤ ) فيمكن أن نضيف الطاقة . فهي تنحفظ تماما حسب معلوماتنا حتى الآن . وهي لا تظهر بشكل وحدات . والمسألة الآن هي أن نعلم إذا كانت منبع حقل . الجواب هو نعم - لقد شرح آينشتاين أن التفاعل ينجم عن الطاقة والطاقة والكتلة متكافئتان ، لكن تفسير نيوتن الذي يقول بأن الكتلة تولد التفاعل قد تحول الى التأكيد بأن الطاقة تولد التفاعل .

هذا ويوجد قوانين أخرى تشبه انحفاظ الطاقة بمعنى أنها لا تتجلى بشكل اعداد . ومنها كمية الحركة أو الاندفاع . فإذا أخذتم جميع كتل مجموعة جسيمات وضربتم كل كتلة بسرعتها ثم أضفتم هذه الجداءات معاً فإنكم تحصلون على مجموع هو اندفاع مجموعة الجسيمات . وهذا الاندفاع الكلي منحفظ . ونحن نعلم اليوم أن الطاقة والاندفاع مترابطان ولهذا السبب وضعاهما في عمود واحد من الجدول .

ولنذكر مثلاً آخر لكمية منحفظة : العزم الزاوي الذي تكلمنا عنه قبل الآن . أن العزم الزاوي يعبر عن ازدياد المساحة التي تمسحها ، خلال ثانية واحدة ، جسيمات متحركة . فلو كنا ازاء جسيم يتحرك واتخذنا نقطة ما كمركز فإن السرعة التي تزداد بموجبها المساحة ( شكل ١٧ ) التي

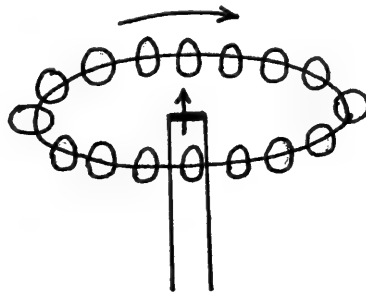


شكل ١٧

يمسحها خط يصل بين المركز والجسيم مضروبة بكتلة الجسيم ، وبعد اضافة جميع هذه الجداءات لشتى الجسيمات نحصل على ما يسمى العزم الزاوي . ان هذه الكمية لا تتغير . يوجد اذن انحفاظ للعزم الزاوي . هذا وقد يظن دارس الفيزياء ، لاول وهلة ، أن العزم الزاوي لا ينحفظ ؛ الا انه كالطاقة يتجلى بأشكال عديدة ، وهو مهما ظن أغلب الناس ، لا يتجلى فقط . في الحركة ولكن في مجالات أخرى سأتكلم عنها .

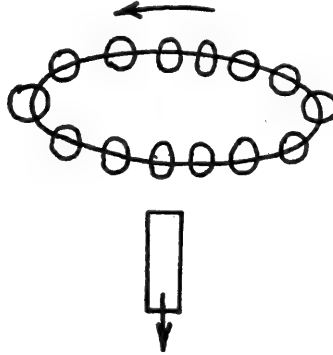
خذوا سلكا حديديا بشكل دائرة وادخلوا فيها مغنطيسا ، فيزداد تدفق الحقل المغنطيسي الذي يخترق الدائرة وتحصلون على تيار كهربائي - ذلك هو مبدأ مولدات الكهرباء . تصوروا الان اننا بدلنا هذا السلك بقرص يحمل شحنات كهربائية تشبه الالكترونات الموجودة في السلك ( شكل ١٨ ) .

فمن مكان بعيد اقرب المغنطيس سريعا ، متبعا خط محوره تماما ، حتى اصل الى القرص مما يولد تغيرا في التدفق . وكما يحدث في السلك



شكل ١٨

تبدأ الشحنات بالدوران . ولو كان القرص محمولا على محور دوار لراح يدور عندما يقترب منه المغنطيس . وهذا يبدو ، لأول وهلة ، متناقضا مع انحفاظ العزم الزاوي : عندما يكون المغنطيس بعيدا لا يدور شيء وعندما يصل المغنطيس يبدأ شيء بالدوران ، فنحصل على دوران مجاني ، مما يتناقض مع القوانين . والان أعلم انكم ستقولون : « لابد من وجود تأثير اخر يجعل المغنطيس يدور في الاتجاه المعاكس » . ليس هذا صحيحا . لا يوجد قوة كهربائية تجعل المغنطيس يدور في الجهة المعاكسة . واليكم الشرح : ان العزم الزاوي يظهر بشكلين : العزم الزاوي للحركة والعزم الزاوي للحقلين الكهربائي والمغنطيسي . اي يوجد عزم زاوي في الحقل الذي يحيط بالمغنطيس ولكن ليس بشكل حركي وله اشارة معاكسة للعزم الدوراني . ولو اعتبرنا الوضع المعاكس لاتضح الامر اكثر ( شكل ١٩ ) .

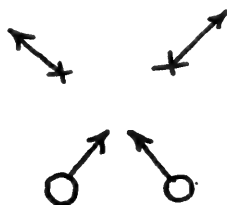


شكل ١٩

فاذا لم يكن يوجد سوى الجسيمات والمغنطيس متجاورة وساكنة فهذا يعني وجود عزم زاوي في الحقل بشكل خفي ودون أن يتجلى بشكل دوران فعلي . وعندما نسحب المغنطيس نفصل الجهاز وتنفصل الحقول كلها وعندئذ لابد ان يتجلى العزم الزاوي . فيأخذ القرص بالدوران . انه قانون التحريض الكهربائي الذي يجعله يدور .

يصعب علي أن اشرح اذا كان العزم الزاوي يتجلى بشكل وحدات . فـأول وهلة يبدو ذلك مستحيلا لان العزم الزاوي يتعلق بالمنحى الذي تختلف قيمته عندما تنظرون اليه جانبيا بدلا من النظر اليه مواجهة . لنقبل اذن جدلا ان العزم الزاوي يتجلى بشكل وحدات : فتنظرون مثلا شيئا يعطي ٨ وحدات ثم تنظرون اليه بميل صغير جدا فيختلف عدد الوحدات قليلا جدا . ربما اقل من ٨ بقليل . لكن العدد ٧ ليس اقل بقليل من ٨ ، بل اقل بشكل محسوس . فالعزم الزاوي لا يمكن اذن ان يتجلى بشكل وحدات . لكن هذا الاثبات لا يفشل في المحاكمات الدقيقة الخاصة بميكانيك الكم حيث اذا قيس العزم الزاوي على اي محور كان فان هذا العدد يتجلى ، وهذا امر عجيب ، بشكل وحدات . لكن هذه الوحدات لا يمكن عدّها كالشحنات الكهربائية، بل هي وحدات بالمعنى الرياضي لهذه الكلمة ؛ اي ان العدد المحصول عليه في قياس ما هو عدد صحيح من المرات من واحدة ما . لكن هذا لا يمكن مقارنته بوحدات الشحنة الكهربائية ، تلك الوحدات التي يمكن تصورها وعدّها - واحدة ، اثنان ، ثلاث .

لكن فيما يخص العزم الزاوي ، لا يمكن ان نتصور وحدات منفصلة بل نحصل دوما على عدد صحيح ... هذا عجيب ! ويوجد قوانين انحفاظ اخرى اقل أهمية من تلك التي تكلمنا عنها ولا تتناول بالضبط انحفاظ اعداد . تصوروا وضعاً ما تحترم فيه الجسيمات المتحركة تناظرا معيناً كالتناظر المضاعف الوارد في الشكل ٢٠ . فاذا صدقنا قوانين الفيزياء يمكن ان نتوقع اننا سنجد هذا التناظر المضاعف بعد فترة زمنية اخرى



شكل ٢٠

تكون خلالها هذه الجسيمات قد تحركت وتصادمت ما طاب لها أن تتحرك وتتصادم . يوجد اذن هنا نوع من الانحفاظ ، هو انحفاظ خاصية « التناظر » ؛ ويجب أن نسجله في جدولنا ولكن ليس كعدد يمكن قياسه ؛ وسنناقشه بالتفصيل في المحاضرة القادمة .

لماذا ليس لهذا أهمية كبيرة في الفيزياء التقليدية ؟ لأن من النادر أن تجدوا ظروفا بدئية يكون التناظر فيها على هذه الدرجة من الجمال . وقانون الانحفاظ هذا ليس على هذه الدرجة من الأهمية والفائدة في الحياة العملية . وبالمقابل في ميكانيك الكم عندما نكون ازاء جملة بسيطة جدا ، كالذرات ، فإن بنيتها الداخلية تتسم غالبا بنوع من التناظر ، كالتناظر المضاعف ، وخاصية التناظر هذه منحفظة . فلهذا الانحفاظ اذن أهمية كبيرة في فهم الظواهر الكمومية .

وهنا ينطرح سؤال هام : هل لقوانين الانحفاظ هذه أسس عميقة أم أن علينا أن نقبلها كما هي ؟ سأعالج هذه القضية في محاضرتي القادمة لكن أريد أن أبدي ملاحظة منذ الآن . إذا ناقشنا هذه المفاهيم في مستوى التبسيط فلا نرى ظاهريا بينها أية علاقة ، لكن الفحص الجدي العميق لمختلف القوانين هذه يكشف عن صلات عميقة فيما بينها ، وكل فكرة تجر أفكارا أخرى . ونسوق ، كمثال ، العلاقة بين مبدأ النسبية من جهة وضرورة الانحفاظ الموضعي من جهة أخرى . فهذه العلاقة ، لو لم نبرهن عليها لبدت أشبه بالمعجزة : إذا لم نتمكن من الشعور بالسرعة التي نتحرك بها فهذا يدل على أن الأشياء المنحفظة لا يمكن أن تنحفظ إذا كان بإمكانها أن تقفز من مكان لآخر !

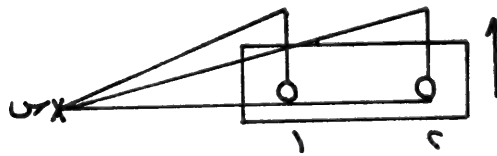
وبوصلنا الى هذه المرحلة أريد أن أشرح كيف أن انحفاظ العزم الزاوي وانحفاظ الاندفاع وبعض المظاهر الأخرى هي ، الى حد ما ، مترابطة فيما بينها . ان انحفاظ العزم الزاوي يرتبط بالمساحة التي تمسحها الجسيمات في حركتها . فإذا كنا ازاء عدد كبير من الجسيمات ( شكل ٢١ ) واتخذنا المركز س بعيدا جدا فإن ابعاد الجسيمات عنه تكون متماثلة فيما بينها . وفي هذه الحالة المهم هو مركبة الحركة الشاقولية

على الشكل ٢١ . فهي التي تدخل في المساحة المسووحة او في انحفاظ العزم الزاوي .



شكل ٢١

نكتشف عندئذ أن مجموع الكتل ، بعد ضرب كل منها بسرعتها الشاقولية ، يجب أن يكون ثابتا لأن العزم الزاوي ثابت بالنسبة لاية نقطة ، واذا كانت النقطة المختارة بعيدة جدا فان ما يهم عندئذ هو الكتل والسرعات . وبهذه الصورة فان انحفاظ العزم الزاوي يحوي انحفاظ الاندفاع والذي يحوي ، هو بدوره ، شيئا آخر هو انحفاظ كمية أخرى مرتبطة بالاولى ارتباطا وثيقا والتي لم اكلف نفسي عناء تسجيلها في الجدول . انه مبدا يخص مركز الثقل ( شكل ٢٢ ) .



شكل ٢٢

ان كتلة ، في علبة ، لا يمكن أن تمر لوحدها من مكان لآخر . ليس لهذا اية علاقة بانحفاظ الكتلة ؛ لان الكتلة موجودة وهي لم تغير سوى مكانها . ان الشحنة هي التي يمكنها ان تفعل ذلك وليس الكتلة . واليكم السبب : ان قوانين الفيزياء لم تتغير بالحركة المنتظمة المستقيمة ، فيمكن أن نفترض أن العلبة تتحرك ببطء نحو الاعلى . لنأخذ الآن العزم الزاوي

من نقطة س ، واقعة على مسافة قريبة . فائنا صعود العلبة اذا كانت الكتلة ساكنة في مكانها فانها تسمح ، في الوضع ١ مساحة بسرعة معينة . وعندما تكون الكتلة قد انتقلت الى الوضع ٢ فان المساحة المسوحة تزداد بسرعة اكبر ، لان الوضع ٢ موجود على نفس الارتفاع ولكن على مسافة من س اكبر . لكن انحفاظ العزم الزاوي يمنع تغير سرعة ازدياد المساحة ولذلك لا يمكن تغيير مكان الكتلة ، الا اذا امكن أن ندفع بكتلة اخرى وبحيث لا يتغير العزم الزاوي . ولهذا فليس من المفروض أن تتحرك الصواريخ في الخلاء ... ، ولكنها مع ذلك تفعل . لتتصور اذن كمية من الكتل ؛ فاذا دفعنا احداها الى التقدم ، يجب أن ندفع اخريات الى التراجع وبحيث تكون الحركة الكلية لجميع الكتل ، تقدما وتراجعا، معدومة . وبهذه الصورة يتحرك الصاروخ ؛ فهو ساكن في البدء ؛ ثم يبدأ حتى في الخلاء ، بقذف كمية من الغاز من مؤخرته الى الوراء ويتقدم بجسمه الى الامام . والمهم أن يبقى مركز الكتل لجميع مادة العالم في مكانه بالضبط كما كان . فالقسم الذي يهنا انطلق الى الامام اما القسم الذي لا يهنا في شيء فقد تراجع . والنظرية لا تقول بأن القسم المهم هو الذي ينحفظ ، بل الكمية الكلية هي المنحفظة .

ان اكتشاف قوانين الفيزياء عملية تشبه تجميع القطع في احجية . ونحن عندنا الآن كثير من القطع المختلفة وهي تزداد كل يوم ! وهناك قطع كثيرة باقية دون استعمال ولا ندري أين مكانها بين الآخرين . وكيف نعرف انها تشكل قطعا متناثرة للوحة واحدة لم تتضح صورتها بعد ؟ فنحن لسنا متأكدين وهذا يقلقنا بعض الشيء ، لكن وجود خواص مشتركة لقطع عديدة يعطينا الشجاعة على المثابرة . فهي كلها مثلا تقع تحت سماء زرقاء ، او مصنوعة من خشب واحد . وكل قوانين الفيزياء ، على تنوعها، تطيع مبادئ الانحفاظ ذاتها .

## تناظر قوانين الفيزياء

ان للتناظر فعل السحر في العقل البشري . فنحن نحب أن نرى ما هو متناظر في الطبيعة كالكرات الضخمة المتناظرة تماما وهي الكواكب والشمس، وكالبلورات المتناظرة لندائف الثلج وكبعض الزهور . على أنني لن اتحدث اليوم هنا عن تناظر الاجسام في الطبيعة بل عن تناظر قوانين الفيزياء نفسها . فمن السهل ان نفهم كيف يكون جسم متناظرا ولكن ما معنى أن يكون قانون متناظرا ؟ لا شيء طبعاً . لكن الفيزيائيين مولعون باستعمال كلمات دارجة في معان خاصة . وفي هذه الحالة بالذات تعطيهم القوانين الفيزيائية انطباعا قريبا جدا من الانطباع الذي يحدثه تناظر الاجسام ، وهذا ما جعلهم يتكلمون عن تناظر القوانين . وهذا ما سأحدث عنه الآن .

ما هو التناظر ؟ انظروا اليّ : انني متناظر ، يمينا - يسارا ( في الظاهر على الاقل ) ، والآناء يمكن ان يكون متناظرا بشكل او بآخر . فكيف نعرف هذه الفكرة ؟ ان القول انني متناظر يمينا - يسارا يعني انه اذا نقلتم كل عضو مني موجود في جهة الى الجهة المقابلة فان مظهري يبقى تماما كما كان عليه . والمربع شكل هندسي ذو تناظر خاص ؛ فلو دورته ب ٩٠ درجة لا يتغير . هذا وقد أعطى الرياضي فايل (١) تعريفا جيدا للتناظر : نقول عن شيء انه متناظر اذا لم يتغير مظهره بعد اجراء فعل معين عليه . ذلك هو ما نعنيه عندما نقول عن قانون فيزيائي انه متناظر : فيمكن ان نطبق عليه فعلا معيناً دون أن يغير ذلك شيئا من

(١) هرمان فايل ، ١٨٨٥ - ١٩٥٥ ، رياضي ألماني .



نتائج . ذلك هو مظهر القوانين الفيزيائية الذي سنوضحه اليوم .  
وابسط مثال على هذا النوع من التناظر ( وهو تناظر سترون انه يختلف  
عن التناظر المألوف الذي يخطر لكم كالتناظر يمين - يسار ) هو الانسحاب  
في الفضاء . وهذا يعني ما يلي : اذا بنيتم جهازا ما أو قمتم بتجربة ما  
على أشياء ما ، ثم ذهبتم فبنيتم جهازا مماثلا تماما أو قمتم بتجربة  
مماثلة تماما على أشياء مماثلة تماما ولكن في مكان آخر بينه وبين المكان  
الاول مجرد انسحاب مكاني فستحصلون في التجربة المنسجبة على  
نتائج مماثلة تماما لنتائج التجربة الاصلية . الحق أن هذا ليس صحيحا  
في الواقع . فلو بنيت فعلا جهازا ثم سحبتة ٦ امتار الى يساري  
فسيضطدم بالجدار واقع في مشكلة . وعلينا عندما نعرف مفهوما ما أن  
نأخذ بعين الاعتبار كل ما يمكن أن يغير الظروف الموضوعية ، وعلينا هنا  
أن نسحب كل شيء مع الجهاز . فاذا كان الجهاز نواسا مثلا وسحبتة  
٣٠ كيلو مترا الى اليمين فان التجربة لا تسير تماما كما كانت تسير لان  
النواس يتأثر بجاذبية الارض . يمكن مع ذلك أن اتصور أنني اسحب  
الارض مع الجهاز فتسير الامور كما سارت . فالمسألة تتطلب اذن أن  
نسحب كل ما يمكن أن يؤثر على الظروف الموضوعية . ويبدو في هذا  
القول شيء من الجنون ، وكأننا نقول : نسحب التجربة مع ظروفها واذا  
لم تسر الامور كما نتوقع فهذا معناه اننا لم نسحب معها ما يكفي ...  
ثم نسحب أشياء بعد أشياء حتى يحدث ما نريد . الواقع أن الامور لاتتم  
بهذا الشكل ؛ فليس من المؤكد تلقائيا أن يحدث ماتريدون . لكن الامر  
الذي يلفت النظر في الطبيعة هو امكانية سحب ما يكفي من الاشياء لتتطابق  
النتائج مع ما كانت عليه . وكفى بذلك نصا ايجابيا .

واليكم بعض الاثباتات . لناخذ مثلا قانون التثاقل الذي يقول بان  
القوة بين جسمين تتغير كمقلوب مربع المسافة بينهما ؛ واذكركم أن الجسم  
ينفعل بالقوة فيغير سرعته ، بمرور الزمن ، باتجاه القوة . فلو كنت ازاء  
جسمين ، كوكب يدور حول الشمس ، وسحبت مجموعة الجسمين معا  
فان المسافة بينهما لا تتغير بالتأكيد ولا تتغير بالتالي القوة بينهما . واكثر  
من ذلك فان الجسمين بعد سحبهما يستمران في الحركة بنفس السرعة

وتبقى التغيرات على حالها وتستمر الجملتان في الدوران كما كانتا تفعلان .  
فاذا كان القانون يقول : « المسافة بين جسمين » بدلا من « مسافة مطلقة  
عن مركز العالم » فذلك لان القوانين يمكن ان نسحبها في المكان .

ذلك هو النوع الاول من التناظر : الانسحاب في المكان . اما الثاني  
فيمكن ان نسميه الانسحاب في الزمان . ولكن من الاوضح ان نقول ان  
فرقا في الزمان لا يغير شيئا . لنقذف بكوكب حول الشمس في منحى ما ؛  
فلو كان بالامكان ان نعاود القذف بعد ساعتين ، او سنتين ، وان نبدا  
من جديد مع الكوكب والشمس في نفس الظروف الاولى لسارت الامور  
تماما كما كانت تسير ، لان قانون التثاقل يتحدث عن السرعة ولا يقول  
شيئا عن الوقت المطلق الذي يفترض ان تبدأوا فيه قياساتكم . بيد اننا ،  
في هذا المثال بالذات ، لسنا متاكدين حقا . فنحن عندما تكلمنا عن قانون  
التثاقل ذكرنا امكانية تغير قوة التثاقل بمرور الزمن ؛ وهذا يعني ان  
الانسحاب في الزمان ليس اقتراحا موفقا لانه اذا تغير « ثابت » التثاقل  
فاصبح بعد مليار سنة اضعف مما هو الآن فليس من الصحيح ان حركة  
جملة الكواكب والشمس ستبقى بعد مليار سنة كما هي الان .

لكن معلوماتنا الحالية اليوم ( واكتفى بالكلام عن القوانين كما نعرفها  
اليوم : وليتني استطيع ان اتكلم عن القوانين كما سنعرفها في الغد ! )  
توحي بان انسحابا في الزمان لا يغير شيئا .

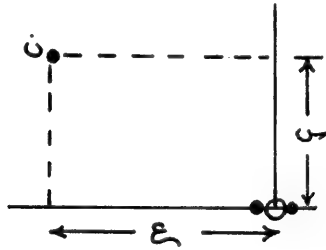
على اننا نعلم يقينا انها فكرة ليست صحيحة تماما من وجهة نظر  
اخرى ، وصحتها لاتعدى مانسميه اليوم القوانين الفيزيائية : لكن  
احد مظاهر هذا العالم ( ربما كانت الحقيقة خلاف ذلك ) يمكن ان  
تتفسر وكأن الوجود كله قد بدا في لحظة معينة وتطور كما يحدث في  
انفجار عماق . ويمكن ان نسمي ذلك ظرفا جغرافيا من جملة الظروف  
الموضوعية التي يجب ان اسحبها عندما اجري انسحابا في المكان . وبتعبير  
ممائل يمكن ان اقول ان القوانين تبقى كما هي ازاء انسحاب زماني  
ويجب ان اسحب انفجار العالم مع سائر ما اسحبه من ظروف . وربما  
كان بالامكان اجراء محاكمة يعاود بموجبها العالم سيرته من جديد بعد

زمن ما : لكن اعنة هذا الزمان وهذا الوجود ليست في ايدينا ولسنا  
اسياد الكون ولا نملك اية وسيلة للتأكد من هذه الفكرة بالتجربة .  
ولو تعمدنا أن نبقي في مجال العلم المؤكد لما حصلنا على شيء . لكن  
الواقع المفروض هو أن ظروف العالم تبدو متغيرة في الزمان ، والمجرات  
تتبعد ؛ وإذا أردتم أن تعيشوا قصة وهم علمي ، في عصر مجهول ، يمكنكم  
أن تقيسوا الزمن بقياس المسافات فيما بين المجرات . وهذا يعني أننا  
لو رجعنا في الزمان الى الوراء لما رأينا العالم في المظهر الذي  
نراه اليوم .

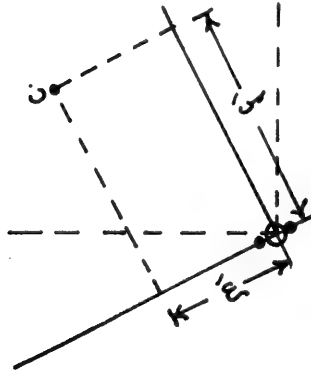
هذا ويصطلح العلماء على فصل القوانين الفيزيائية ، التي تفسر  
حركة الاشياء بدءاً من وضع معين ، عن دراسة أصل العالم لأننا لانعلم  
عن هذا الموضوع الاخير الا النزر اليسير . ويعتبر عموماً التاريخ الفلكي ،  
او تاريخ العالم ، شيئاً مختلفاً عن القانون الفيزيائي . ومع ذلك لو تحداني  
أحدكم في أن اذكر لكم الفرق بينهما لآعاني ذلك . فأهم خاصية للقانون  
الفيزيائي هو شموليته ، او عالميته ، وهل هنالك شيء أكثر شمولية ،  
او عالمية ، من استمرار السدم في التوسع ؟ فانا حقيقة لا اعلم كيف  
أحدد هذا الفرق . وأخيراً ورغم كل ذلك اذا قررت أن أضرب صفحا  
عن أصل العالم وأن لا اهتم بغير القوانين الفيزيائية المعروفة أمكنني  
أن اقول أن تأخراً في الزمان لا يغير فيها شيئاً .

لأخذ أمثلة أخرى على قوانين التناظر . أحدها هو الدوران في  
المكان ، دوران معين . اذا قمنا بتجارب بواسطة تجهيزات مركبة في  
مكان ما ، ثم ركبت تجهيزات أخرى ماثلة للاولى تماماً ( ربما بسحبها  
قليلاً لكي لانعيق العمليات ) ولكنها مدارة بحيث يكون كل محور قد  
تغير اتجاهه فان النتائج تبقى كما كانت . ومرة أخرى يجب أن نذكر كل  
ما يمكن أن يتدخل موضوعياً في التجربة . فلو كنا ازاء ميقائية ذات  
رقاص من ميقائيات أجدادنا وارادنا تدويرها لوضعها بشكل افقي فان  
رقاصها سينبطح على جدار الصندوق ويتوقف . لكنكم اذا أردتم

الأرض أيضا ( وهذا ما يحدث لها باستمرار ) فان الرقاص يستمر في حركته . هذا وان الوصف الرياضي لامكانية التدوير هذه مهم الى حد ما . فلو وصف مايجري في ظرف معين نستخدم الاعداد التي تدل على مكان الجسم والتي نسميها احداثيات النقطة ويلزم ثلاثة في الحالة العامة لتعيين ارتفاع النقطة وبعدها الى اليمين وبعدها الى اليسار . وفي هذه الحالة بالذات لن اهتم بالارتفاع لانني احتاج ، لدى التدوير ، الى احداثيين فقط . لنرمز بـ  $S$  للمسافة امامي و بـ  $E$  للمسافة الى



ب - ان العنصر بيني وبين النقطة  $N$  تتعين بعدد  $S$  و  $E$  ، حيث  $S$  هو بعد  $N$  امامي ،  $E$  طالع غربي بعدها الى يساري .



ج - تصميم النقطة نفسها بـ  $S$  و  $E$  ، حيث  $S$  و  $E$  اذا بقيت في مكاني ودرت بزاوية ما .

شكل ٢٣

يساري . وبهذين العددين يمكن ان اعين مكان اي جسم بالنسبة لي : امامي والى يساري . فمن كان منكم اصله من نيويورك يعلم ان البيوت تتعين اماكنها برقم الشارع ورقم البيت في الشارع ( على الاقل قبل ان يتغير اسم الشارع السادس ) .

والمظهر الرياضي للتدوير هو التالي : اذا عينت مكان نقطة كما فعلت بواسطة احداثيها  $S$  و  $E$  وعين شخص ، ينظر في اتجاه آخر ، مكان النقطة نفسها بنفس الطريقة وبالنسبة اليه بعددين آخرين  $S'$  و  $E'$  ( شكل ٢٣ ) أمكن التأكد من ان العدد  $S$  الخاص بي هو مزيج من

الاحداثيين سَ و عَ كما تصبح ع مزيجا من سَ و عَ ايضا . وقوانين الطبيعة تتمتع بخاصة انها لايتغير شكلها اذا بدلنا فيها كلا من سَ و عَ بالمزيجين المذكورين هذين . وبهذه الصورة يتجلى التناظر في الشكل الرياضي . فنكتب المعادلات بأحرف ما ، ويوجد طريقة لتغيير الاحرف سَ و عَ بمزائج سَ و عَ : فاذا أجرينا هذا التبديل نرى ان المعادلات لايتغير شكلها الا بظهور فتحات هنا وهناك . وهذا يعني ان الشخص الآخر سىرى بواسطة جهازه نفس الظواهر التي اراها انا في جهازي المدار باتجاه آخر .

والآن اسوق لكم مثالا قانون تناظر هاما : وهو يتناول سرعة ثابتة في خط مستقيم . ويعتقد أن حركة بسرعة ثابتة في خط مستقيم لاتغير قوانين الفيزياء . انه مبدأ النسبية : اذا كان شخص في مركبة فضائية فيها اجهزة عاملة وشخص آخر في مكان ما على الارض ومعه اجهزة مماثلة ، وكانت المركبة الفضائية تتحرك بسرعة مستقيمة ثابتة فان الشخص الذي يرصد فيها ما يحدث على جهازه يرى نفس ما اراه انا ، الساكن على الارض ، على جهازي ؛ اللهم الا اذا تطلع الى الخارج او ارتطم بحاجز خارجي او فعل شيئا من هذا القبيل : ولكنه اذا ما استمر في حركته في خط مستقيم وسرعة ثابتة فان قوانين الفيزياء تتجلى له بالشكل الذي اراها فيه . ومن وجهة النظر هذه لايمكن أن أقول أينما الذي يتحرك .

وعلي هنا ، قبل أن استرسل في الحديث ، ان أوكد أن في هذه التحويلات جميعها وهذه التناظرات لاجابة لتحريك العالم . لناخذ حالة الزمان : فنحن لانتعلم شيئا اذا نقلنا بالخيال جميع ازمان العالم كله . وكذلك لافائدة من اصدار نص مجاني يقول : اذا اخذت كل موجودات العالم وسحبته الى مكان آخر فان سلوكها لن يتغير . لكن الشيء الذي يلفت النظر هو التالي : اذا اخذت تجهيزات ماوسحبته ثم تحققت من مجموعة نتائج ( ولو احتاج الامر الى اضافة قطع جديدة ) فهذا معناه أنني قد حركت قسما من العالم ، بالنسبة لمتوسط اوضاع جميع النجوم ، دون أن ينغير شيء . وهذا ، في حالة النسبية ، يعني أن الشخص الذي يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم ، بالنسبة لمتوسط

أماكن جميع السدم ، لا يشعر بحركته . وبتعبير آخر : ان من المستحيل ان نؤكد ، من خلال تجارب تجري ضمن سيارة ودون ان نتطلع الى الخارج ، فيما اذا كنا نتحرك بالنسبة لمجموعة النجوم .

لقد كان نيوتن اول من لفظ هذا النص (١) . لتأخذ قانونه في الثاقل ؛ فهو يقول بان القوى تتناسب مع مقلوب مربع المسافة وأن القوة تولد تغيرا في السرعة . لنفترض الان انني اكتشفت ما يحدث عندما يدور كوكب حول شمس ثابتة وانني أريد الان ان اكتشف ما يحدث عندما يدور كوكب حول شمس متحركة . ان كل السرعات التي حصلت عليها في الحالة الاولى ستتغير ، ويجب علي ان اضيف سرعة ثابتة . لكن القانون ينص على تغيرات السرعة ، والذي يحدث اذن هو ان تغيري سرعتي الكوكبين سيكونان متطابقين ، مثل القوة التي تؤثر في جملة تتألف من كوكب وشمس متحركة . وهكذا يمكنني في حالة الكوكب الثاني ان ادخل سرعة اضافية تبقى ثابتة وتنضاف اليها جميع التغيرات . والنتيجة الرياضية الواضحة هي : اذا اضفنا سرعة ثابتة فان القوانين تبقى تماما على ما هي عليه . فنحن لا يمكننا اذن ان نعلم ، من خلال دراسة الجملة الشمسية ومدارات الكواكب حول الشمس ، اذا كانت الشمس نفسها تتحرك في الفضاء .

فبموجب نيوتن ليس لهذه الحركة في الفضاء اي تأثير على حركة الكواكب حول الشمس ؛ ويضيف نيوتن : « ان حركة الاجسام فيما بينها ، في مكان ما ، لا تتغير سواء كان هذا المكان ساكنا بالنسبة للنجوم الثابتة او متحركا في خط مستقيم بسرعة ثابتة » .

ولقد مر ، منذ نيوتن ، زمن طويل اكتشفت خلاله قوانين جديدة ، منها قوانين مكسويل (٢) في الكهرباء . وهذه القوانين تؤكد وجود

---

(١) ليس هذا صحيحا تماما . فقد أعطى غاليله ( فيزيائي ايطالي ، ١٥٦٤ - ١٦٤٢ ) نصا واضحا لهذا المبدأ . ( المترجم ) .

(٢) جيمس كلارك مكسويل ، ١٨٣١ - ١٨٧٩ ، اول استاذ للفيزياء التجريبية في كمبريدج .

امواج - الامواج الكهرومغناطيسية التي يُولف النور مثالا عليها - تسير في الخلاء بسرعة ثابتة تساوي ٣٠٠ . ٠٠٠ كيلو متر في الثانية ، أقصد ٣٠٠ . ٠٠٠ كيلو متر في الثانية في جميع الاحوال . وقد يبدو لنا عندئذ من الممكن تعيين من يتحرك ، لان القانون الذي يقول ان النور يتحرك بـ ٣٠٠ . ٠٠٠ كم في الثانية لا يسمح بالتاكيد ( لاول وهلة ) لشخص ان يتحرك دون ان يظهر اثر لحركته . فمن الواضح ( اليس كذلك ؟ ) انكم اذا كنتم في مركبة فضائية تتحرك بسرعة ٢٠٠ . ٠٠٠ كم في الثانية في اتجاه ماوكنت انا ساكنا وارسلت اليكم حزمة ضوئية تلحق بكم بسرعة ٣٠٠ . ٠٠٠ كم في الثانية وتدخل عليكم من خلال ثقب في غلاف المركبة ، وعندما تخترق الحزمة المركبة التي تبتعد بسرعة ٢٠٠٠٠٠ كم / ثانية سيخيل اليكم ان الضوء يتحرك بسرعة ١٠٠٠٠٠ كم / ثا فقط . ومع ذلك لو اجريتم التجربة فستأكدون انكم ترون الضوء يتحرك بسرعة ٣٠٠ . ٠٠٠ كم/ثا كما اراه انا ايضا يتحرك بسرعة ٣٠٠ . ٠٠٠ كم/ثا .

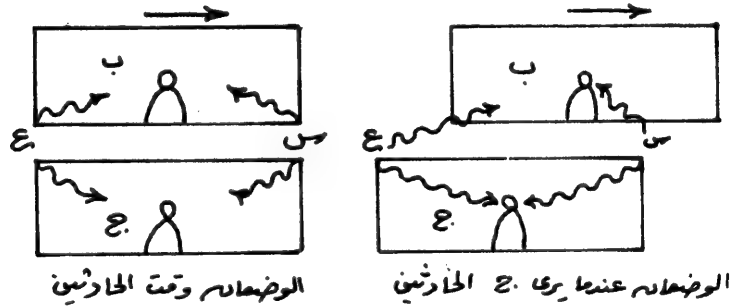
ان قوانين الطبيعة لاتفهم كلها بسهولة كبيرة . ونتيجة هذه التجربة ما تزال مناقضة للحس السليم لدرجة ان كثيرا من الناس مازالوا كافرين بها .

وقد تابعت التجارب واثبتت كلها ان السرعة ٣٠٠ . ٠٠٠ كم/ثا لاتتغير مهما كانت سرعة الشخص المتحرك الذي يقيسها . ولكن كيف يتفسر ذلك ؟ لقد اتفق اينشتاين وبوانكاريه (١) على الجواب الوحيد التالي : اذا كان شخصان ، احدهما متحرك والآخر ساكن ، يجدان بالقياس عددا واحدا لسرعة واحدة فذلك لان احساسيهما بالزمان ، وكذلك بالمكان ، ليسا متطابقين ؛ اي لان النواس الموجود داخل المركبة الفضائية لايتحرك بنفس السرعة التي له على الارض . . الخ . وربما تجيبون : « حسنا ، لكن اذا كانت الميقاتية تقول تيك - تاك وأنا انظر اليها في المركبة فيمكنني ان اشعر بأنها تقصر » . وأنا اجيبه : « كلا ، لان مخك سيقصر ايضا » .

(١) جول هنري بوانكاريه ، ١٨٥٤ - ١٩١٢ ، عالم فرنسي .

وبعد التأكد من أن الامور تتم كما ذكرنا داخل المركبة الفضائية يمكن أن ننشئ علما يتكلم عن داخل الصاروخ بلهجة ٣٠٠٠٠ « كم - صاروخ » في « ثانية - صاروخ » وعن الارض هنا بلهجة ٣٠٠٠٠ كم من كيلومترات في الثانية الواحدة من ثواني . ان هذا دقيق على الفهم لكن أعجب الامور أن الامور تتم كذلك .

لقد ذكرت سابقا نتيجة لمبدأ النسبية وهي عدم امكانية تعيين السرعة التي نحرك بها في خط مستقيم . ولا بد انكم ماتزالون تتذكرون في محاضرتي السابقة مثال المركبتين ب و ج ( شكل ٢٤ ) .



شكل ٢٤

كان برق يلتصق في كل طرف من المركبة ج ، وكان رجل في مركز المركبة وكان البرقان ( س و ع ) يلتصقان عند كل طرف من مركبته في لحظة معينة ، وكان يرى من جهته ان البرقين يلتصقان في آن واحد لانه موجود في مركز المركبة . لكن رجل المركبة ب الذي يتقدم بسرعة ثابتة نحو ج يرى البرقين نفسيهما منفصلين في الزمان ؛ والواقع انه يرى برق س يصل اليه قبل برق ع لانه يتقدم . وهكذا ترون احدى نتائج مبدأ التناظر من أجل سرعة ثابتة في خط مستقيم - ان كلمة تناظر تعني عدم امكانية معرفة أي الرجلين مصيب - وهذه النتيجة هي : عندما اتحدث عما يجري في العالم « الان » فان هذا لايعني شيئا . فاذا كنتم تتحركون بسرعة ثابتة في خط مستقيم فان ما يبدو لكم حادثا



في وقت واحد لا يبدو لي أنا حادثا في وقت واحد حتى ولو كنا في حالة تقابل معا عندما يحدث الحادثان المتواقتان . ولا يمكن ان نتفق على معنى كلمة « الان » عن بعد . وهذا يستدعي تغييرا عميقا في مفهومي المكان والزمان لدينا ، اذا اردنا الاحتفاظ بمبدأ ان سرعة ثابتة في خط مستقيم لا يمكن اكتشافها . والذي يحدث هنا ، في الواقع ، هو ان الحادثين اللذين يبدو انهما ، لرصد ما ، متواقين يبدو انهما لرصد آخر مفصولين في الزمان ؛ ومن المفهوم ضمنا ان الراصدين بعيدان أحدهما عن الآخر .

وهكذا ترون ان هذا يشبه كثيرا قصة سي وع في المكان . فاذا كنت في مواجهة الجمهور فان ضلعي المنبر الذي أفق عليه يبدو ان مستوى واحد . فلهما سي واحد لكن ع تختلف من ضلع لآخر . لكنني اذا درت ٩٠ درجة ثم نظرت الى نفس الجدران من نقطة أخرى سأتى أحدهما في مواجهتي والآخر ورائي وسيختلف سي من أحدهما للآخر . وعلى نفس المنوال يمكن ان نرى ان الحادثين اللذين يبدو انهما ، من نقطة ما ، متواقين ( لهما نفس الزمن ) يمكن ان يبدوا من نقطة أخرى منفصلين في الزمان ( يختلف زمني من أحدهما للآخر ) . لدينا اذن عموما التدوير ذو البعدين ، المكان والزمان ، الذي تكلمت عنه ؛ وهذا يجعلنا نحصل ، باضافة الزمان الى المكان ، على عالم ذي أربعة أبعاد . وليس هذا مجرد اضافة مصطنعة كما يمكن ان يتراءى في غالبية كتب التبسيط التي تقول : « اضيفوا الزمان الى المكان لانكم لاتستطيعون تعيين موضع نقطة فقط في المكان » . ان هذا صحيح لكنه غير كاف للحصول على مكان-زمان حقيقي ذي أربعة أبعاد . ولا يفعل أكثر من وضع شيئين معا . وللمكان الحقيقي ، بمعنى ما ، خاصية وجوده بشكل مستقل عن كل وجهة نظر خاصة ؛ وعندما ننظر اليه من زوايا مختلفة يمكن ان يحدث اختلاط بين مفهومي « أمام - وراء » و « يسار - يمين » . وبنفس الصورة يمكن لكمية من الزمان « مستقبل - ماضي » ان تختلط بكمية من المكان . فالمكان والزمان مترابطان بشكل وثيق . وبعد هذا الاكتشاف تمكن منكوفسكي من القول : « ان المكان بذاته والزمان بذاته سيتلاشيان كالذخان ، اما ماسيقتي فمزيج منهما معا . »

واود أن ألح بصورة خاصة على هذا المثال لانه يشكل أساسا لدراسة التناظر في قوانين الفيزياء . وإلى بوانكاريه تعود فكرة تحليل ما يمكن أن نفعل في معادلة دون أن نغيرها ، وهو أول من لفت النظر الى تناظر القوانين الفيزيائية . ولئن كان تناظر الانسحاب في المكان والانسحاب في الزمان لايقود الى نتائج مهمة فان تناظر السرعة الثابتة في خطمستقيم مهم جدا وله نتائج من كل نوع . وهذه النتائج تنطبق ، فوق ذلك ، على قوانين لانعرفها . فاذا فرضنا مثلا ان هذا المبدأ صحيح في تفكك الميزون **هو** امكن ان نؤكد ان هذه الميزونات لاتسمح لنا بأن نقول بأية سرعة نتحرك ونحن في مركبة فضائية ؛ وهكذا نعرف ، على الأقل ، شيئا ما عن تفكك الميزون **هو** حتى ولو كنا في البدء نجهل سبب تفككه .

هذا ويوجد تناظرات كثيرة أخرى ، بعضها من نوع خاص جدا . ولن اذكر سوى بضعة منها . وهذا ، مثلا ، أحدها : يمكن أن نبدل ذرة بذرة أخرى من نفس النوع . وهذا لا يغير شيئا في الحوادث مهما كانت . وربما تسألون : « ماذا يعني نفس النوع ؟ » ولايمكن أن أجيب بسوى : « هذا يعني أن الذرة التي توضع مكان الاولى لاتولد أي اختلاف ! » ستفكرون حتما ان الفيزيائيين لايقولون سوى هراء ! اليس كذلك ؟ اذ يوجد انواع عديدة من الذرات واذا بدلنا ذرة بذرة من نوع آخر فان هذا الابدال يغير شيئا ولكن اذا بدلنا ذرة بأخرى من نفس النوع لايتغير شيء ، ان هذا يشبه تعريفا ذا حلقة مفرغة .

لكن المعنى الحقيقي لكل ذلك هو انه يوجد ذرات من نوع واحد ، ويمكن تقسيم الذرات الى مجموعات وأصناف بحيث يمكن أن نبدل ذرة بأخرى من نفس النوع دون أن يغير ذلك شيئا . ولما كان عدد الذرات الموجودة في قطعة صغيرة جدا يتألف من الرقم ١ متبوعا بقرابة ٢٣ صفرا فمن اللازم أن تكون كلها متشابهة لامختلفة . وانه لشيء يلفت النظر حقا أن نتمكن من تصنيفها في عدد محدود ، بضع مئات ، من الانواع المختلفة . فالقول بأنه « يمكن ابدال ذرة بأخرى من نفس النوع » له اذن معنى كبير ، خصوصا في ميكانيك الكم ، ولكن يستحيل علي

ان اشرحه هنا ، والسبب ، الى حدما ، ولكن فقط الى حدما ، يعود الى ان هذا الدرس يلقي امام جمهور ليس له معرفة كافية بالرياضيات . وهذا الشرح هو ، على كل حال ، دقيق بعض الشيء على الفهم . فللجملة « يمكن ابدال ذرة بأخرى من نفس النوع » في ميكانيك الكم نتائج مذهشة . فهي تؤدي الى حوادث خاصة في الهليوم السائل ، هذا السائل الذي يجري في الانابيب دون مقاومة الى ما شاء الله . والواقع انها تشكل حجر الاساس في كامل الجدول الدوري للعناصر وهي السبب الذي يمنعني من الغوص في أرض الغرفة . وأنا لن ادخل في التفاصيل وكل ما اريده هو الالحاح على أهمية هذه المبادئ .

والآن اظنكم قد اقتنعت ان جميع قوانين الفيزياء متناظرة ازاء اي تأثير او تحويل . واذن ساعمد الآن الى ذكر اشياء من هذا القبيل ليست صحيحة .

وأول شيء هو تغيير السلم . فاذا صنعت جهازا ثم جهازا آخر يماثله تماما في جميع تفاصيله والمواد المصنوع منها لكنه اكبر بمرتين فليس من الصحيح انهما سيعملان تماما بصورة واحدة . وانتم ، وقد تعودتم على الذرات ، تدركون هذا الواقع : فانا لو صنعت هذا الجهاز اصغر بعشرة مليارات مرة فلن يحتوي على اكثر من خمس أو ست ذرات، ولايمكن ان اصنع آلة ( مثلا ) من خمس ذرات فقط .

هذا وواضح جدا ، عندما نذهب الى هذا الحد ، انه لايمكننا ان نغير السلم . وحتى قبل ان تتضح الصورة المتكاملة للذرة كان واضحا ان هذا القانون لم يكن صحيحا . ولابد انكم قرأتم ذات يوم في الجرائد ان شخصا قد انشأ كاتدرائية من عيدان البثقاب - عدة طوايق وطراز قوطي اكثر من ابة كاتدرائية قوطية اخرى وأبهى زينة . لكن لماذا لايبني الناس كاتدرائيات عملاقة ذات عوارض كبيرة ومزينة بنعومة كقطعة الحلوى بأدق تفاصيلها ؟ السبب في ذلك اننا لو بنينا مثل هذه الكاتدرائية لانهارت تحت وطأة علوها وثقلها . لكن هل نسينا شيئا ؟ بالتأكيد : لقد غاب عنا انه يجب ان نغير السلم في كل شيء . فالكاتدرائية المبنية

من عيدان الثقاب تنجذب نحو الارض ، واذا اردنا مقارنتها بالكاتدرائية العملاقة ، المنجذبة أيضا نحو الارض ، وجب أن نكبر الارض أيضا . لكن حظنا هنا أيضا ليس أسعد ! فأرض أكبر من أرضنا ينجم عنها قوة جذب أشد من ثقلنا ، وسيكون حظ الكاتدرائية الحجرية من الانهيار أكثر تأكيداً !

لقد كان غاليله أول من اكتشف أن قوانين الفيزياء لا تبقى كما هي ازاء تغير السلم : وذلك عندما قارن قوة أغصان الشجر بقوة العظام . فكان يقول بأننا اذا اردنا أن نصنع عظما لحيوان أكبر - ولنقل أعلى وأطول وأعرض بمرتين - لوجب أن يحمل وزنا أكبر بثمان مرات ويجب، بالتالي ، على قوة تحمله أن تكون أكبر بثمان مرات . وبما أن مقاومة العظم تتناسب مع سطح مقطعه العرضاني وبما أن طوله سيكون أكبر بمرتين ، فإن سطح مقطعه لن يزداد بأكثر من أربع مرات .

وقد رسم غاليله في كتابه ، حوار حول علمين جديدين ، عظما وهمية لكلب عملاق لدرجة هائلة . ولا بد أنه كان يعتقد أن اكتشافه لحقيقة أن قوانين الطبيعة ليست ثابتة ازاء تغير السلم لا يقل أهمية عن اكتشاف قوانين الحركة بدليل أنهما واردان كلاهما معا في كتابه المذكور .

واليكم مثالا آخر على شيء لا يشكل قانون تناظر : اذا راحت مركبتكم الفضائية تدور حول نفسها بسرعة زاوية ثابتة فمن الخطأ القول أنكم لن تشعروا بهذا الدوران . بل ستشعرون ، ويمكن أن أقول أنكم ستصابون بدوار الماشية<sup>(١)</sup> ؛ وسترون أيضا أن الأشياء تنقذ نحو جدار المركبة بالقوة النابذة ( أو سموها كما تريدون - أمل أن لا يوجد بين الجمهور من يعارضني من معلمي السنة الأولى - فيزياء ! ) . يمكن أن نبرهن على أن الارض تدور وذلك بواسطة نواس أو جيروسكوب ، ولا شك أنكم تعرفون أن كثيرا من المراصد والمتاحف تملك نواصات تدعى نواصات

---

(١) داء يصيب الفم والبقر يجعل الحيوان يدور في مكانه بحركات تشنجية .

( المترجم )

فوكو (١) تشعر بأن الأرض تدور ، دونما حاجة لرصد النجوم . فنحن اذن يمكننا أن نؤكد أن الأرض تدور بنا بسرعة زاوية ثابتة ، ولا حاجة بنا ، كي نؤكد ذلك ، الى التطلع نحو خارج الأرض بل اننا نستطيع ذلك لمجرد ان قوانين الفيزياء تتغير بسبب الحركة الدورانية .

لقد عرض بعض الناس افتراضا يقول بأننا ، بالرغم من دوران الأرض بالنسبة للمجرات ، لو دورنا المجرات أيضا لما تغيرت القوانين .

لست أدري ما قد يحدث لو دورنا العالم بأكمله ، ولكن الذي أدريه اننا لا نملك وسائل الحسم في هذا الموضوع ؛ لا وليس لدينا اليوم نظرية تعين تأثير المجرات على اشيائنا في هذه الدنيا وتؤكد لنا بدقة ودون انخداع ولا مواربة أن العطالة ازاء التدوير ، وتأثير الدوران ، وتغير سطح الماء في سطل يدور حول محوره ، وكل هذا ، ناتج عن قوة آتية من الاجرام المحيطة . ولا علم لنا ان كان ذلك صحيحا . ان مبدأ ماخ يؤكد ذلك ولكن لم يبرهن عليه بعد . فالمسألة التجريبية المباشرة تتلخص في معرفة اذا كنا سنشعر بتأثيرات الدوران بسرعة ثابتة بالنسبة للسدم . والجواب هو نعم . ولو تحركنا في مركبة فضائية بسرعة ثابتة في خط مستقيم بالنسبة للسدم فهل نشعر بتأثير ذلك ؟ والجواب هو كلا . انهما أمران مختلفان . ولا يمكن القول بأن كل حركة هي حركة نسبية . وليس هذا معنى النسبية . ومبدأ النسبية يقول بأن السرعة الثابتة في خط مستقيم بالنسبة للسدم شيء لا يمكن كشفه .

والآن أريد أن اتحدث اليكم عن قانون تناظر آخر مهم بحد ذاته وبقصته . انه مسألة الانعكاس في المكان ؛ واليكم الشرح : اصنع جهازا ، وليكن ميقاتية وفي مواجهتها اصنع ميقاتية أخرى هي خيال - مرآتي (٢)

---

(١) جان برناردليون فوكو ، ١٨١٩ - ١٨٦٨ فيزيائي فرنسي .

(٢) المقصود بجملته « خيال - مرآتي » لشيء ما هو خيال هذا الشيء كما يرى في مرآة مستوية ، والمعلوم ان يسار الخيال هذا هو يمين الشيء نفسه والعكس بالعكس . فالعلاقة بين الشيء وخياله - المرآتي هو انقلاب اليمين الى يسار واليسار الى يمين .  
( المترجم )

للميقاتية الاولى . فالتشابه بين الميقاتيتين هو من جنس التشابه بين قفازين ، احدهما يمين والآخر يسار ، لشخص واحد . فعقارب احدى الميقاتيتين تدور في عكس اتجاه دوران عقارب الاخرى . ولو دورت مفتاح احدهما في اتجاه ما ، لكي أعبئها ، وجب أن ادور مفتاح تعبئة الاخرى في الاتجاه المعاكس . . . وهكذا . لاعبئ الآن الميقاتيتين ولاضعهما متفتحتين على ساعة واحدة ، ثم اتركهما وشأنهما . فهل تبقيان دوما على وفاق ؟

هل تعمل آلة احدى الميقاتيتين بصورة مطابقة لما يجري في الميقاتية الخيال - المراتي الاخرى ؟ لا ادري ما هو رأيكم في الجواب على هذا السؤال . الارجح انكم ستردون بالايجاب . وهذا ما فعله اكثر الناس . وانا لا اناقش مسألة جغرافية . ففي الجغرافيا يمكن ان نميز اليمين واليسار : فلو كنا في فلوريدا واتجهنا باتجاه نيويورك لامكن ان نقول ان المحيط الأطلسي على اليمين . وبذلك نميز اليمين واليسار ؛ ولو كانت الميقاتية تستعمل ماء البحر فلن تعمل اذا كان انشاؤها قد تم في الجهة المعاكسة لأن آلية عملها ليست موجودة في هذا الماء . وفي حالة كهذه يجب ان نتصور ان جغرافية الارض قد انقلبت من اجل الميقاتية الاخرى ؛ وكل ما يدخل في هذا الحادث يجب ان ينقلب . ونحن لا نهتم ايضا بالتاريخ . لو اخذتم برغيا من الورشة فمن الارجح ان يكون لولبه دائرا نحو اليمين ؛ ويمكن ان نؤكد ان الميقاتية الاخرى ليست مطابقة للاولى لاننا نجد عناء في ايجاد البراغي الملائمة . لكن ذلك يتوقف فقط على نوع الاشياء التي نصنعها . وعلى كل حال فالانطباع الاول هو ، بلاشك ، ان الميقاتيتين تبقيان على وفاق .

والواقع ان قوانين التماثل تتصف بانها لاتنسب في أي فرق بين الميقاتيتين اذا كانتا تعملان بالتماثل . كما ان قوانين الكهرباء والمغناطيسية تتصف بأن الميقاتية المقابلة تعمل جيدا حتى ولو كانت تحوي ، بالإضافة الى اعضائها الكهربائية والمغناطيسية ، تيارات واسلاك واشياء أخرى . ولو كان يدخل في عملها تفاعلات نووية عادية فان هذا

لن يغير شيئاً ايضاً . لكن يوجد شيء آخر يمكن أن يحدث تغييراً ؛ وسأعود اليه بعد قليل .

ربما كنتم تعلمون أن من الممكن قياس تركيز السكر المحلول في الماء بامرار حزمة من الضوء المستقطب في المحلول . نمرر حزمة من الضوء العادي خلال صفيحة مصنوعة من مادة شفافة خاصة مقطبة للضوء ( نسميها المقطب ) فيخرج منها الضوء مستقطباً في منحى معين ( أي أن الاهتزازة الضوئية تأخذ منحى معيناً عمودياً على استقامة الاشعة الضوئية ) ثم نرسل هذا الضوء في المحلول وبعد خروجه نضع في طريقه صفيحة مقطبة ثانية تماثل الاولى ( ونسميها المحلل ) فنرى أن الضوء الخارج من المحلل قد ضعف نوره ولكي نعيد هذا النور الى شدته الاولى يجب أن ندور المحلل ، حول استقامة الاشعة الضوئية ، نحو اليمين ( بالنسبة لشخص ينظر باتجاه جهة تقدم الضوء ) . نعيد الآن المحلل الى وضعه السابق ونحتفظ بهذا التركيب التجريبي على ما هو عليه ولكننا نأتي بالضوء من الجهة المقابلة ، فيخترق المحلل أولاً ( ويلعب عندئذ دور مقطب ) ثم المحلول ثم المقطب ( ويلعب عندئذ دور محلل ) فنرى أن النور يخرج ضعيفاً من جديد ولكي نعيده الى شدته الاولى يجب أن ندور المحلل ايضاً الى اليمين ( وهذا بيت القصيد ) . يوجد اذن هنا فرق بين اليمين واليسار ( لان الانقلاب في جهة حركة الضوء لم يؤد الى انقلاب في جهة تدوير المحلل (١) ) .

يمكن أن نستعمل محلول السكر والضوء في تجربة الميقاتيتين ؛ فنأخذ وعاء المحلول ونمرر فيه الضوء ثم ندور الصفيحة المقطبة الثانية بحيث يمر الضوء تماماً ، ثم نضع التركيب الآخر في الميقاتية الثانية آملين في أن تدور الاهتزازة الضوئية نحو اليسار . لكنها لا تفعل ذلك وتدور دوماً نحو اليمين ولا يخترق الضوء المقطب . وهكذا نكون ، بالماء السكري، قد ولدنا فرقاً بين الميقاتيتين !

---

(١) ان شرح هلاء التجربة في النص الاصلي موجز ، في رأينا ، أكثر من اللازم . ولذا عمدنا الى كثير من الاضافات وبعض التحوير آملين أن يصبح النص اسهل فهماً .  
( المترجم )

ان هذا يلفت النظر وكأنه يؤكد أن القوانين الفيزيائية ليست تناظرية لدى الانعكاس . ومع ذلك ، فالسكر المستعمل هنا يمكن أن يكون سكر الشمندر . لكن السكر جسم جزيئاته الكيميائية ذات شكل بسيط نسبيا . ومن الممكن استحضاره في المخبر انطلاقا من ثاني اوكسيد الفحم والماء ومرورا بعدة مراحل . ولو أخذتم سكرنا مستحضرا ، وهو يبدو كيميائيا مماثلا تماما للسكر الطبيعي ، لرأيتم أنه لا يحرف الاهتزازة الضوئية . هذا وان الجراثيم تأكل السكر . فلو وضعتم الجراثيم في محلول سكر مستحضر في الماء لآكلت هذه الجراثيم نصف كمية السكر في المحلول . فلو امرتم بعدئذ الضوء المستقطب فيما تبقى من المحلول لاكتشفتم ان هذا المحلول قد عاد يحرف الاهتزازة الضوئية ولكن نحو اليسار . واليكم التفسير : ان السكر جزيء معقد يتألف من مجموعة من الذرات مرتبة بشكل متشابك . فلو صنعنا ترتيبا مماثلا تماما ولكن بابدال اليمين يسارا وبالاحتفاظ بالمسافات فيما بين الذرات (١) ، فان طاقة الجزيء لا تتغير ، ولا تتغير أيضا جميع الظواهر الكيميائية التي لا تخص الحياة . لكن المخلوقات الحية تشعر بهذا الفرق ، والجراثيم لا تأكل سوى نوع واحد من السكر وتدع الآخر . والسكر المستخرج من الشمندر يحتوي على نوع واحد هو الجزيئات اليمينية فقط ، ولذا فهو يحرف استقطاب الضوء نحو اليمين . والجراثيم لا تأكل الا الجزيئات اليمينية . ونحن عندما نستحضر السكر كيميائيا بدءا من مواد هي نفسها ليست ذات تناظر نحصل على نوعي الجزيئات معا وبكميتين متساويتين تماما ؛ واذا ادخلنا الجراثيم في السكر المستحضر هذا فانها تأكل النوع الذي هي قادرة على اكله وتترك النوع الآخر . ذلك هو السبب الذي يجعل السكر المتبقي في المحلول ، أي الذي لم تأكله الجراثيم ، يحرف استقطاب الضوء نحو الجهة الاخرى . هذا ويمكن فصل النوعين عن بعضهما بمشاهدة البلورات في المجهر ، كما اكتشف باستور (٢) . اذ يمكن

(١) أي أن هذا الترتيب هو بالضبط خيال الترتيب الاول في مرآة مستوية .

( الترجمة )

(٢) لويس باستور ، ١٨٢٢ - ١٨٩٢ ، عالم جراثيم فرنسي .



ان ثبت ان لكل ذلك مغزى ويمكن ان نفصل نوعي السكر بانفسنا اذا شئنا دون ان ننتظر الجرائم . لكن المهم هو ان الجرائم تستطيع ذلك . فهل معنى هذا ان حوادث الحياة لا تخضع للقوانين نفسها ؟ الظاهر كلا . ويبدو ان المخلوقات الحية تتألف من كميات من الجزيئات المعقدة التي لها كلها نوع من « اللولية » . والبروتينات هي من أولئك الجزيئات الأكثر تمثيلا لهذه المخلوقات الحية ، وهي تشبه اللولب المستعمل في فتح سدادة الزجاج ، ولها جهة لولبة معينة تماما تدور نحو اليمين . ولو استطعنا ان نستحضر كيميائيا جزيئات مماثلة ولكنها ملولبة نحو اليسار بدلا من اليمين فلن تكون فعالة بيولوجيا لانها لن تنسجم مع جزيئات البروتين الأخرى . فاللولبية اليسارية تنسجم مع لولية يسارية أخرى . لكن اليسار واليمين لا ينسجمان . والجرائم لها لولية يمينية في تركيبها الكيميائي وتستطيع بذلك ان تتبين السكر اليميني من السكر اليساري .

لكنها كيف تتوصل الى ذلك ؟ ان الفيزياء والكيمياء لا تستطيعان تمييز الجزيئات ولا تصنعان الا النوعين معا . لكن البيولوجيا يمكنها ذلك . والتفسير ، السهل التصديق ، هو انه ، في الازمان السحيقة في بدء الحياة ، كان قد تشكل جزيء واحد بالصدفة وراح يتكاثر ويتوالد خلال سنين وسنين حتى ان هذه اللغائف اللزجة ذات الزوائد الموشاة بنقاط تجتمع لتثرثر بعضا في مواجهة بعض . ولسنا ، نحن ، سوى انسال الجزيئات الاولى وهي انما تشبكت بمحض الصدفة في احدى الجهتين دون الأخرى ، اذ كان لا بد من ان تتشكل في هذه الجهة أو تلك ، يمينا أو يسارا ؛ ثم بدأت بالتكاثر وما زالت مستمرة فيه حتى الآن . وهذا يشبه جدا براغي الورشات ؛ فقد استعملت براغي ملولبة نحو اليمين وهكذا دواليك . هذا وان كون جميع جزيئات المخلوقات الحية ملولبة باتجاه واحد لهو دليل من أعماق الأدلة على رتابة تاريخ الحياة في نسق واحد منذ المرحلة الجزيئية المحضة .

ولاعطاء صورة أوضح عن هذه القضية ، قضية فيما اذا كانت قوانين الفيزياء لا تميز بين اليمين واليسار ، يمكن ان نطرح المسألة التالية :

لنفترض أننا نتحدث هاتفيا مع مريخي ( أحد سكان كوكب المريخ ) أو مع اكتورى (١) واننا نريد أن نصف له ما يوجد على كوكب الارض .

كيف يمكن ، بادئ ذي بدء ، أن يفهم كلماتنا ؟ لقد درس الاستاذ موريسون ، من جامعة كورنيل ، هذه المسألة بعمق ورأى أن نبدا بالقول : « تاك ، واحد ؛ تاك ، تاك ، اثنان ؛ تاك ، تاك ، تاك ثلاثة » وهكذا دواليك . ولن يطول بصاحبنا الامر حتى يتفهم اعدادنا ؛ وبعد أن يفهم كلمات اعدادنا يمكن أن نكتب سلسلة اعداد تمثل الاوزان والاوزان النسبية لمختلف الذرات بالتتابع ؛ ثم نقول : « هيدروجين ، ١.٠٠٨ » ثم الدوتريوم ، ثم الهليوم ... الخ . وهو ، بعد أن يعكف على هذه الاعداد زمنا ما ، يكتشف أن النسب الرياضية هي نسب اوزان العناصر الكيميائية البسيطة . وبهذه الطريقة يمكن تدريجيا أن تؤلف معه لغة مشتركة . وهنا الآن تبدأ المشكلة . لنفترض ، بعد أن تعارفنا ، أنه قال : « انكم قوم جذايون وأحب أن أعرف ماذا تشبهون » . فنبدأ : « ان طولنا قريب من ١.٨٠ مترا » فيسأل : « ١.٨٠ مترا ؛ ما هو كبر المتر ؟ » وجوابنا بسيط : « ١.٨٠ مترا يساوي ارتفاع سبعة عشر الف مليون ذرة هيدروجين ! » . ان هذا ليس مزاحا — بل طريقة لوصف ١.٨٠ مترا لمخلوق ليس لديه مجموعة مقاييس — وبفرض أننا لا يمكن أن نرسل اليه عينة ولا يمكن أن ننظر وايه معا الى اشياء واحدة . وهكذا يمكننا أن نشرح له حجمنا . ذلك لان قوانين الفيزياء ليست لامتغيرة بتغير السلم ويمكن أن نستعمل هذا الواقع لتعيين السلم . ثم نستمر في وصف انفسنا — ارتفاعنا ١.٨٠ مترا ، متناظرون خارجيا في الجهتين ، وكيت وكيت ، عددا بعد عدد ... الخ . وعندئذ سيقول : « هذا جميل جدا ولكن ماذا تشبهون داخليا ؟ » فنروح نصف له القلب وباقي الاعضاء ثم نقول : « ضع الآن القلب في جهة اليسار » ولكن كيف نشرح له أين توجد جهة اليسار ؟ — لا بد انكم ستقترحون أن نقول له : « خذ سكر الشمندر وضعه في الماء ثم افعل كذا ... وسترى كذا ... » ، لكن المزعج الوحيد هو أنه لا يوجد شمندر هناك ؛ وحتى لو وجد فنحن لسنا متأكدين من

---

(١) نسبة الى اكتوروس وهو سادس ألمع النجوم في السماء . ( المترجم )

ان صدف التطور على المريح ، ان كانت قد صنعت بروتينات كما صنعت عندنا ، لم تخلق بروتيناتها ملوبة في الاتجاه المعاكس، مما يجعل اقتراحكم عديم الفائدة . وبعد تفكير وعناء طويلين سترون انكم لن تستطيعوا ان تشرحوا له جهة اليسار ، وتدركون عندئذ ان ذلك مستحيل .

ومع ذلك فمئذ سنوات خمس جاءت تجارب اثارث مشاكل من كل نوع . وانا لن ادخل في تفاصيلها ولكننا وجدنا انفسنا غارقين في صعوبات تتزايد حدتها ، ومواقف أعجب فأعجب ؛ حتى جاء اخيرا لي ويانغ<sup>(١)</sup> فأصدرا فرضية ان مبدا التناظر ، يمينا - يسارا ( ان الطبيعة لا تميز اليمين عن اليسار ) مبدا خاطيء ؛ وهذه الفرضية تسمح بتفسير عدد من الامور العجيبة . وقد اقترح لي ويانغ تجارب مباشرة لاثبات ذلك . ولن اتكلم الا عن اكثرها مباشرة . نأخذ تفككا اشعاعيا ، مثلا ، يحدث فيه اصدار الكترون ونترينو - وهو مثال تكلمنا عنه يحدث بموجبه تفكك النترون الى بروتون والكترون ونترينو مضاد - ويوجد كثير من حوادث الاشعاع تزداد فيها شحنة النواة بوحدة الشحنات ويصدر الكترون واحد . والمهم في ذلك انكم اذا قسمتم « سين » الالكترون ( وهو يعبر عن كيفية انفثال الالكترونات حول نفسها لحظة خروجها ) فسوف تكتشفون انها تفتل حول نفسها نحو اليسار ( عندما تنظرون اليها من الخلف ، اي : اذا كانت تذهب نحو الجنوب تكون دائرة حول نفسها كجهة دوران الارض حول نفسها ) . ولهذه الظاهرة معنى دقيق جدا وهو ان الالكترون الصادر عن التفكك يفتل دوما في اتجاه واحد وان لولبيته يسارية . فكان أنبوب البندقية التي تطلق الالكترون ، في هذا التفكك المسمى اصدار بيتا ، محزوز داخليا بشكل لولبي يساري . وعلى هذا الاساس يمكن ان ننادي صديقنا المريخي الى الهاتف لنقول له : « اسمع ، خذ مادة مشعة ، نثرونا وارصد الالكترون الذي يخرج بالاصدار بيتا . فاذا انقذف نحو الاعلى عند خروجه فان جهة انفثال سيبينه هي التي نسميها جهة اليسار بالنسبة للجسم المشع منظورا اليه من الخلف . ذلك هو تعريف اليسار . وفي هذه الجهة يوجد القلب في

---

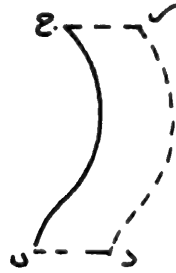
(١) تسونغ داوولي وشن نينغ ، فيزيائيان صينيان ، جائزة نوبل ١٩٥٧ .

جسمنا » . وهكذا يمكن اذن أن نعرف اليمين واليسار وبذلك ينهار القانون القائل بأن العالم متناظر يمينا - يسارا .

أريد بعدئذ أن أتكم عن العلاقة بين قوانين الانحفاظ وقوانين التناظر . وقد تكلمنا في المحاضرة السابقة عن مبادئ الانحفاظ ، كانهفاظ الطاقة والاندفاع والعزم الزاوي ... الخ . ويبدو ، وهذا أمر مهم جدا ، أنه يوجد علاقة عميقة بين قوانين الانحفاظ وقوانين التناظر . وهذه العلاقة لا تفسر جيدا ، بحسب ما نعلم اليوم على الأقل ، الا بمعرفة ميكانيك الكم . وسأعطيكم رغم ذلك إيضاحا .

إذا قبلنا أن قوانين الفيزياء يمكن شرحها بواسطة مبدأ الاصفرية نستطيع عندئذ أن نبرهن على أنه إذا كان قانون يتلاءم مع امكانية سحب مجمل التركيب ، أو بتعبير آخر إذا كان القانون قابلا للانسحاب في المكان ، فيجب أن يكون هناك انحفاظ للاندفاع ، فهناك علاقة وثيقة بين مبادئ التناظر وقوانين الانحفاظ . لكن هذا يستدعي أن نقبل بمبدأ الاصفرية . وفي محاضرتي الثانية ناقشت طريقة ، لوصف القوانين الفيزيائية ، تستند الى أن الجسم يذهب من نقطة لاخرى خلال فترة زمنية معينة بتحري شتى الطرق . ويوجد كمية معينة تسمى ، ربما خطأ ، فعل . فإذا حسبنا الفعل على شتى الطرق اكتشفنا أن الفعل هو دوما أصغر على الطريق الذي يسلكه الجسم فعلا منه على أي طريق آخر . وهذه الطريقة في شرح القوانين تلخص بالقول بأن الفعل ، المحسوب من دساتير رياضية معينة ، هو أقل على الطريق الفعلي منه على أي طريق ممكن آخر . وطريقة أخرى لقول أن الفعل أصغري هي القول بأنه إذا غيرنا الطريق قليلا جدا فإن ذلك لن يحدث فرقا يذكر . تصوروا أنكم تنزهون على هضبة - لكن الهضبة ذات سفح قليل الميل ، لان الكائنات الرياضية التي نحن بصددتها تتعلق بميل قليل - وأنكم تصلون الى المكان الاخفض ؛ وأنا أزعم أنكم إذا خطوتم خطوة صغيرة الى الامام فلن يتغير ارتفاعكم ؛ كما أن خطوة صغيرة انطلاقا من أعلى نقطة لا تغير ، لأول وهلة ، شيئا من ارتفاعكم . لكن ، في مقابل ذلك ، إذا كنتم على السفح فإن خطوة واحدة

قد ترتفع بكم او تنخفض ، وهنا مفتاح الفكرة القائلة بأن خطوطكم الصغيرة المنطلقة من أخفض مكان لا تحدث تغييرا يذكر ، لانه لو حدث فرق فان خطوة تخطونها بالاتجاه المعاكس ستخفض بكم ، وبما انكم موجودون في النقطة الاخفض فلا مجال للنزول اكثر . وهذا ما يؤكد لكم ، كتقريب اولي ، ان الخطوة لاتحدث اي فرق . وهكذا تدركون ان انحرافا طفيفا عن الطريق الفعلي الذي يسلكه الجسم لا يغير الفعل بتقريب اولي . لنرسم طريقا يذهب من ب الى ج ( شكل ٢٥ ) . ولنعتبر الطريق الآخر الممكن التالي : نقفز اولاً الى نقطة قريبة جداً د ثم نتبع طريقاً موازياً تماماً حتى نقطة أخرى ر . وبما انه طريق مواز فسيكون بالطبع منسحباً عن الطريق الفعلي بنفس المسافة . لكننا كنا قد اكتشفنا أن قوانين الطبيعة تنص على ان الكمية الكلية للفعل المصروف على الطريق ب د ر ج تساوي ، بتقريب اولي ، الفعل المصروف على الطريق ب ج



شكل ٢٥

اي ، بموجب مبدأ الاصفرية ، على طريق الحركة الفعلية . واضيف ان الفعل على الطريق الاول ، من ب الى ج ، هو الفعل نفسه من د الى ر اذا كان العالم بقي على حاله عندما نسحب كل شيء لان الفرق الوحيد بين هذين الفعلين هو انسحاب اجمالي . فاذا كان ، اذن ، مبدأ التناظر بالانسحاب في المكان صحيحا فان الفعل على الطريق المباشر بين ب و ج يساوي الفعل على الطريق المباشر بين ب و د . على ان الفعل الكلي ، عندما توجد حركة حقيقية ، على الطريق اللامباشر ب د ر ج هو نفسه ،

تقريباً جداً ، على الطريق المباشر ب ج وهو مجموع ثلاثة اجزاء - الفعل في الذهاب من ب الى د ثم من د الى و ثم من و الى ج . وهكذا تدركون بلاشك أن مجموع الاسهامين من ب الى د ومن د الى ج معدوم . لكن أحد هذين الطريقين ، في الحركة ، مسلوک باتجاه والاخر بالاتجاه المعاكس . فاذا اعتبرنا ان الاسهام ، من ب الى د ، هو مفعول الحركة في احد الاتجاهين وان الاسهام من و الى ج هو اسهام من ج الى و ذو اشارة معاكسة لانه يحدث في الاتجاه المعاكس ، فان كل ذلك يعني انه يوجد كمية فعل من ب الى د يجب ان تتعلق بالكمية من ج الى و ، لكي يحدث الانعادل المطلوب . ذلك هو تأثير الخطوة الصغيرة ، في اتجاه ج و ، على الفعل . ان هذه الكمية ، اي تأثير الفعل بخطوة صغيرة الى اليمين هي في البدء ( من ب الى د ) وفي النهاية ( من ج الى و ) . يوجد اذن كمية لاتتغير في الزمان شريطة ان يعمل مبدأ الاصفرية وأن يصح مبدأ التناظر بالانسحاب المكاني . وهذه الكمية اللامتغيرة ( تأثير الفعل بخطوة جانبية ) هي ، في الواقع وبالذات ، الاندفاع الذي تكلمنا عنه في المحاضرة السابقة . وهذا ما يثبت العلاقة بين قوانين التناظر وقوانين الانحفاظ عندما نقبل أن القوانين تطيع مبدأ الفعل الاصفرى . ومن الثابت انها تطيع مبدأ الفعل الاصفرى لانها متولدة من ميكانيك الكم . ولهذا السبب قلت ان العلاقة بين قوانين التناظر وقوانين الانحفاظ تتولد ، في النهاية ، من ميكانيك الكم . هذا وبمحاكمة مماثلة نحصل من تناظر الانسحاب الزماني على انحفاظ الطاقة . ومن تناظر الانسحاب التدويرى في المكان نحصل على انحفاظ العزم الزاوى . اما فكرة أن التناظر الانعكاسى المراتى لا يولد اى تغيير في الآثار الفيزيائية فيبدو انها لا تتعلق بأية فكرة بسيطة بالمعنى التقليدى . وقد اطلق عليها اسم الزوجية ، ويوجد قانون انحفاظ يسمى انحفاظ الزوجية ، ولكن ما هي الا اسماء معقدة . واراني مضطراً الى ذكر انحفاظ الزوجية لانكم لا بد قرأتم في الصحف أن قانون انحفاظ الزوجية ليس صحيحاً . وكان من الممكن أن تفهموا هذا الاكتشاف بسهولة أكبر لو كتبت الصحف ما يلي : لقد ثبت أن المبدأ الذي يقول بعدم وجود فرق بين اليمين واليسار ليس صحيحاً .

وما دامت بصدد التناظر أود أن أشير الى بعض المسائل الجديدة .  
 مثلا ، من أجل كل جسيم يوجد جسيم مضاد . فالجسيم المضاد  
 للالكترون هو البوزترون ، ومن أجل البروتون يوجد البروتون المضاد .  
 وعلى هذا الاساس يمكن مبدئيا أن نشكل مادة مضادة تكون فيها كل  
 ذرة مؤلفة من الجسيمات المضادة المقابلة . فذرة الهيدروجين تحتوي  
 على بروتون والكترون ؛ ولو اخذنا بروتونا مضادا ، وهو سالب كهربائيا ،  
 وبوزترونا ووضعناهما معا نحصل على نوع من ذرة هيدروجين هو ذرة  
 هيدروجين مضاد . والواقع أننا لم نصنع حتى اليوم ذرات هيدروجين  
 مضاد لكننا حسبنا أن ذلك ممكن مبدئيا وأن من المستطاع صنع جميع  
 انواع المادة المضادة بهذه الطريقة . وعندها يمكن أن نتساءل اذا كانت  
 المادة المضادة تتصرف كمادة ؛ والجواب ، حسب معلوماتنا ، هو نعم .  
 فاحد قوانين التناظر يؤكد أننا اذا صنعنا شيئا من المادة المضادة فسوف  
 يتصرف بالاسلوب نفسه الذي يتصرف به الشيء المقابل المصنوع من  
 المادة . ومن المؤكد أن هذين الشيئين اذا التقيا يتفانيان معا وتتفجر  
 شرارات !

ولقد كنا دوما نظن أن المادة وضدها تخضعان لنفس القوانين .  
 ولكن ، ونحن نعلم الآن أن التناظر يمينا - يسارا يبدو خاطئا ، ينطرح  
 سؤال هام . اذا اعتبرت تفكك النترون المضاد ( وهو يتحول الى بروتون  
 مضاد والكترون مضاد ، وهو البوزترون ، ونترينو ) فهل يحدث ذلك  
 في الجهة السابقة نفسها ؟ وبتعبير أوضح هل يخرج البوزترون ملولبا  
 نحو اليسار او في الاتجاه المضاد ؟ لقد كنا نظن ، حتى بضعة شهور خلت ،  
 انه ملولب في الاتجاه المضاد وأن المادة المضادة ( البوزترون ) تختار اليمين  
 عندما تختار المادة ( الالكترون ) اليسار . وفي هذه الحالة لن نتمكن حقا  
 ان نحدد للمريخي اليمين واليسار ، ذلك لان ما عنده قد يكون ، بالصدفة ،  
 مادة مضادة وعندئذ ستكون الكتروناته ، في تجربته ، بوزترونات وتنفصل  
 في الاتجاه السيء ، وسيضيع ، نتيجة ذلك القلب في الجهة السيئة ( في

جهة اليمين ) . لنفترض انكم تشرحون للمريخي بالهاتف كيف يصنع انسانا ؛ فيصنعه ويسير انسانه على ما يرام . ثم تشرحون له ايضا جميع اعرافنا الاجتماعية . وفي النهاية ، وبعد ان يشرح لنا كيف نبني مركبة فضائية محكمة ، تسافرون لكي تقابلوه ، وعندما تقتربون منه تمدون له اليد اليمنى للمصافحة . فاذا مد لكم يده اليمنى فصافحوه ، ولكن اذا مد يده اليسرى فحذار ... ان تمسوه لانكم عندئذ ستفنونوه وسيفنيكم !

واخيرا كان بودي ان احدثكم عن تناظرات اخرى لكن شرحها جم الصعوبة . فهناك تلك الامور المثيرة جدا وهي التناظرات التقريبية . ففي امكانية التميز بين اليمين واليسار جانب هام جدا : ان هذه الامكانية لا تصح الا في التفاعلات الضعيفة كالاصدار بيتا . وهذا يعني ان الطبيعة ، في ٩٩.٩٩٪ ، لا تسمح بالتمييز بين اليمين واليسار ، ولكن يوجد خلوة صغيرة ، حادثة صغيرة معينة ، تختلف عن الباقي تماما . وكأنها ذات ساق واحدة . انها الفوزة لا يدري احد عنها شيئا .







## التمييز بين الماضي والمستقبل

من المعلوم ، لدى كل الناس ، أن حوادث الطبيعة هي وضوحا لاعكوسة . نعلم أن هذه الحوادث لا يمكن أن تحدث بشكل مقلوب في الزمان . يسقط الفئجان من يدمك فينكسر ، ولو انتظرتم دهرًا طويلا لن تروا القطع المتناثرة تتجمع لوحدها وتقفز فنجانا سليما الى يدمك ! وعندما تشاهدون أمواج البحر تتكسر على صخور الشاطئ فانظروا طويلا ، دون جدوى ، أن تعيشوا اللحظة التي يتجمع فيها الزبد ثانية ويلقي بنفسه في البحر ويسبح مبتعدا عن الشاطئ - لا شك أن المنظر سيكون جميلا جدا !

وقد أصبحت عادة في المحاضرات أن يعرض بالمقلوب فيلم يصور حوادث مختلفة ، فيثور ضحك عام . وهذا الضحك يدل ببساطة على أن الأمور لا يمكن أن تحدث هكذا في عالم الواقع . وواضح أن هذه الامثلة اضعف من أن تشكل برهانا على ظاهرة فيها من العمق والبدئية ما في الفرق بين الماضي والمستقبل . فنحن لا حاجة بنا لاجراء تجارب كي نفرق بين الحاضر والمستقبل ، وتكفي لذلك تجارب الحياة الخاصة . فنحن نتذكر الماضي لا المستقبل ، ولدينا حس واضح بالفرق بين ما يمكن أن يحدث وما هو قد حدث فعلا . ومن الناحية النفسانية يوجد فروق بين الماضي والمستقبل تتجلى من خلال احساسات خاصة كالذاكرة أو حرية الاختيار الظاهرية ، بمعنى أننا نعتقد بإمكانية التأثير على المستقبل بينما لا يعتقد أحد منا ، الا ما ندر ، بإمكانية تغيير الماضي . فالندم والاسف والامل ... كلها كلمات تميز بين الماضي والمستقبل .

لكن اذا كان العالم الحقيقي مصنوعا من ذرات وكنا نحن ايضا مصنوعين من ذرات ونخضع لنفس القوانين الفيزيائية فان ايسر تفسير لهذا التفريق البدهي بين الماضي والمستقبل ، لهذه الالاعكوسية في كل الحوادث ، يمكن ان يكمن في أن بعض القوانين ، بعض قوانين حركة الذرات ، تعين اتجاهها يمتاز عن سواء - أن بعض الحركات الذرية لا يمكن أن تحدث في الاتجاهين . وقد يجب أن نجد في الميكانيك مبدا تحول بموجبه الآلات دوما الى اجهزة ولا يحدث العكس ابدا ، وبذلك تتحول صفات العالم باستمرار من صفات آتية الى صفات جهازية ، وهذا التحول الوحيد الاتجاه الذي يطرا على الاشياء هو السبب في سير أمور الطبيعة باتجاه واحد .

لكننا لم نجد شيئا من هذا القبيل حتى الآن . فلا يوجد في قوانين الطبيعة المعروفة حتى اليوم شيئا يسمح بالتمييز بين الماضي والمستقبل، شيئا لا يستدعي اثاره الضحك عندما نرى الفيلم يمر بالمقلوب .

لنأخذ مثالنا المعتاد ، قانون التثاقل . لدي شمس وكوكب . اطلق الكوكب في اتجاه ما فيأخذ بالدوران حول الشمس . اصور ذلك على فيلم ثم اعرض الفيلم بالمقلوب فماذا ارى ؟ سأرى الكوكب يدور حول الشمس ، في الاتجاه العاكس طبعا ولكنه يرسم اهليجا أيضا . وستكون سرعته أيضا بحيث يمسح نصف القطر مساحات متساوية في أزمنة متساوية . فالكوكب يتحرك اذن على ما يرام ولا يمكن أن نميز حركته هذه عن الحركة الاصلية . فقانون التثاقل اذن لا يشعر باتجاه الزمن . فلو عرضتم اذن بالمقلوب فيلما يصور حوادث لا يدخل فيها سوى التثاقل سيبدو طبيعيا تماما . وهذا ما يمكن النص عليه بشكل أدق : اذا قلبنا ، مرة واحدة ، سرعة كل من جسيمات جملة ، ولو كانت معقدة ، فان الجملة ترجع على اعيابها متبعة طريقها بالمقلوب . فاذا كان لديكم مجموعة جسيمات تعمل شيئا ما وقلبتم سرعاتها فانها تخرب ما كانت قد فعلته.

وهذا شيء موجود في قانون التثاقل الذي يشرح كيف تتغير السرعة بتأثير القوة : اذا قلبت الزمن لا تتحول القوى ولا تتحول بالتالي تغيرات

السرعات على مسافات مساوية . وهكذا تعاني كل سرعة سلسلة تغيرات هي بالضبط مقلوب السلسلة التي عانتها فيما سبق . وهكذا نبرهن بسهولة على أن قانون التثاقل عكوس في الزمان .

وماذا بشأن قوانين الكهرباء والمغناطيسية ؟ انها عكوسة في الزمان . وقوانين التفاعلات النووية ؟ عكوسة في الزمان حسب معلوماتنا . وقوانين الاصدار بيتا التي تكلمنا عنها ؟ هل هي عكوسة في الزمان ايضا ؟ هناك صعوبات في تجربة حديثة تدل على امكانية وجود شيء ما ، شيء لا تتنبأ به القوانين ويوحى بأن الاصدار بيتا قد لا يكون عكوسا في الزمان ؛ ولكن علينا أن ننتظر تجارب أخرى لتأكيد ذلك<sup>(١)</sup> . وعلى كل حال يمكن أن نؤكد أن الاصدار بيتا ( سواء كان عكوسا في الزمان أم لم يكن ) هو ظاهرة ليس لها اية أهمية في أغلب الظروف العادية . فوجودي أمامكم وحديثي اليكم يتحققان باعتبارات كيميائية وأخرى كهربائية وقليلًا بقوى نووية كما يتوقعان على التثاقل ؛ لكن ليس للاصدار بيتا أي دخل في ذلك . فانا ، بالرغم منه ، أعمل باتجاه واحد : فعندما أتكلم يتطاير صوتي في الهواء ولا يعود ليفوص من جديد في فمي المفتوح . وهذه اللاعكوسية لا شأن للاصدار بيتا بها . ويتعبّر آخر نعتقد أن غالبية الظواهر العادية في الطبيعة ، تلك التي تنجم عن حركة الذرات ، تطيع قوانين يمكنها أن تكون مقلوبة تماما في الزمان . وعلينا أن نستمر في البحث عن تفسير اللاعكوسية .

لو نظرنا بانتباه أعمق الى كواكبنا الدائرة حول الشمس لشعرنا سريعا أن ليس كل شيء على ما يرام . فدوران الأرض ، مثلا ، حول نفسها يتباطأ شيئا فشيئا ؛ وهذا ناتج عن احتكاك مياه المد والجزر ، وليس الاحتكاك بالطبع شيئا عكوسا ؛ فاذا وضعت على الأرض جسما وازنا ودفعته ، فانه يتحرك ثم يتوقف ؛ ولو انتظرت الدهر كله لن أراه ينطلق من جديد فيتسارع ويعود الى يدي . فالاحتكاك اذن يتضح ،

---

(١) ان هذه اللاعكوسية الاساسية ( لكن ذات تأثير محدود ) قد تم اثباتها تماما في ظواهر من نوع الاصدار بيتا ودرست بعد ١٩٦٤ . ( المترجم الفرنسي )

بالفعل ، شيئاً لا عكوساً . لكن مفعول الاحتكاك ، كما تعلمون ، ليس سوى نتيجة تعقيد التفاعل بين ذرات الجسم وذرات لوح الخشب ، نتيجة اضطراب ذراتهما . فالحركة الرتيبة للجسم تتحول الى اضطراب غير رتب لذرات الخشب . علينا اذن أن نفحص الامور بشكل اعمق .

وهنا نمسك ، في الواقع ، بمفتاح هذه اللاعكوسية . واليك مثالا بسيطا . خذوا وعاء ذا حجريين احدهما مملوء بالماء الملون بالحبر الازرق والاخرى بماء صاف . ولنفترض أن الحجريتين مفصولتان بحاجز رقيق . لنسحب الحاجز بكل بطء وهدوء . ففي البدء يكون السائلان منفصلين : الازرق في جهة والصافي في الجهة الاخرى . وبعد قليل يبدأ السائلان بالاختلاط شيئاً فشيئاً ؛ وفي النهاية يختلطان تماما في محلول واحد ذي لون ازرق شاحب يعم الوعاء كله . ولو بقيتم دهرًا طويلا تنظرون الى هذا المحلول لما رأيتم السائلين ينفصلان من تلقائهما . ( يمكن ان تفعلوا شيئاً لفصلهما من جديد . كأن تبخروا الماء كله وتكثفونه في وعاء آخر فتحصلون على الملون لوحده ؛ ثم تحلونه من جديد في نصف كمية الماء المتكاثف وتعيدون الجملة الى وضعها الاولي . ولكنكم بهذا العمل تكونون قد ادخلتم حوادث اخرى لا عكوسة ) . فالسائلان لا يعودان من تلقائهما الى ما كانا عليه .

وهذا يعطينا فكرة . لننظر الى الجزيئات . لنصور ، على فيلم ، الماء الازرق والماء الصافي اثناء تمازجهما . ثم لنعرض هذا الفيلم بالمقلوب فنرى حادثا عجيبا : سنرى الماء منتظم اللون في البدء ، ثم يفصل اللونان شيئاً فشيئاً ؛ انه منظر مجنون تماما . لنكبر الآن جميع الصور ، بحيث يمكن لكل فيزيائي أن يفحصها ذرة ذرة كي يجد الشيء الذي يحدث بشكل لاعكوسي : كي يجد أين ينتهك قانون التكافؤ بين الماضي والمستقبل . لناخذ اذن بتفحص صور الفيلم . سنرى ذرات من نوعين مختلفين ( نسميهما ، وهذا مضحك ، زرقاء وبيضاء ) تضطرب دون توقف في هياجها الحراري . فلو بدأنا بالصور الاولي لرأينا غالبية الذرات ، التي من لون واحد ، في جهة والغالبية الاخرى في الجهة الاخرى . ثم تضطرب

هذه الذرات كلها في جميع الاتجاهات ، بمليارات ومليارات ؛ ثم ، وبالرغم من أن كل نوع منها كان منفصلا لوحده في جهة ، سنرى أن حركاتها الدائمة الفوضوية تخلطها فيما بينها تماما ، مما يفسر لماذا يصبح الماء في النهاية ذا لون أزرق منتظم .

لنفحص تصادما معينا نختاره على الفيلم : سنرى الذرتين ترتطمان على بعضهما هنا ثم تنزوان الى هناك . لنعرض الآن هذا القسم من الفيلم بالقلوب : سنرى الذرتين تاتيان من هناك فترطمان هنا وتنزوان . وعندها يقوم الفيزيائي ، الذي يفحص الصور بعين يقظة ، ببعض القياسات ويهتف : « رائع ! ان هذا ينسجم مع قوانين الفيزياء : اذا جاءت ذرتان من هناك وتصادمتا فسوف تنزوان فعلا نحو هنا » . ان هذا عكوس . ان قوانين التصادمات الذرية والجزيئية عكوسة .

وهكذا يؤدي الفحص الجاري بعناية فائقة الى موقف عجيب يستغرق على الفهم ؛ لان كل تصادم يحدث بشكل عكوس تماما ، مع ذلك فان الفيلم المعروض بالقلوب يظهر حادثا مستحيلا : نرى فيه الجزيئات مختلطة تماما في البدء - زرقاء ، بيضاء ، زرقاء ، بيضاء ، زرقاء ، بيضاء - ثم نراها ، بمرور الزمن وبفضل التصادمات ، تنفصل الى ذرات بيضاء في جهة وذرات زرقاء في جهة أخرى . وذلك بالرغم من أن الفحص الدقيق للفيلم بالقلوب يظهر أن كل التصادمات عكوسة .

وهكذا ترون أن مجرد الفوضى العامة للحياة هي التي تتسبب في اللاعكوسية . فلو انطلقتم من حالة انفصال كامل ثم ادخلتم عليها تغيرات فوضوية تحصلون على تمازج نسيق . لكن اذا انطلقتم من حالة تمازج نسيق وادخلتم تغيرات فوضوية لما حصلتم على انفصال . لكن ربما يحدث انفصال . اذ ليس مما ينتهك قوانين الفيزياء أن تنزو الذرات ، بعد التصادم ، بحيث يحدث الانفصال . لكن هذا نادر الحدوث ، وليس له بذلك أي حظ في مليون عام . وهنا يكمن الجواب . ان الامور تسير بصورة لاعكوسة بمعنى أن أحد الاتجاهين محتمل بينما الاتجاه الآخر ، بالرغم من أنه ممكن ومنسجم مع قوانين الفيزياء ، لا يمكن أن يحدث في

مليون عام . فمن المثير للسخرية ان نتوقع رؤية هياج الذرات يقوم بفصل الماء عن الحبر كلا في طرف ولو انتظرنا طويلا .

والآن ؛ كان بإمكانني اجراء تجربتي في علبة صغيرة لا يمكن ان تتسع لأكثر من أربع أو خمس ذرات من كل نوع تختلط ، كما في السابق ، بمرور الزمن . وهنا يمكنكم ، على ما اظن ان تقبلوا انكم اذا ثابرتم على مراقبة التصادمات الفوضوية المستمرة فقد ترونها بعد زمن ما ( ليس لزما مليون سنة ، ربما سنة واحدة فقط ) قد عادت صدفة الى الحالة البدئية بمعنى ، على الأقل ، انني لو وضعت حازرا في الوسط لرأيتم البيضاء في جهة والزرقاء في الجهة الاخرى . ان هذا ليس مستحيلا . لكن الأجسام التي نتعامل معها في هذه الدنيا لا تتألف من أربع أو خمس ذرات بيضاء أو زرقاء ، بل من أربعة أو خمسة مليار مليار مليار ذرة وهي لن تنفصل هكذا ! فخاصية الالاعكوسية الظاهرية للطبيعة لا تأتي من لاعكوسية القوانين الاساسية الفيزيائية ؛ لكنها تأتي من واقع انكم اذا انطلقتم من جملة رتيبة وارخيتم العنان لفوضوية الطبيعة ، لهياج الذرات ، فان الرتابة ستزول .

وهنا يجب ان نتساءل : كيف امكن للرتابة ان تحدث في البدء ؟ لماذا كان ممكنا صنع ترتيب بدئي ؟ فالصعوبة تأتي من اننا نبدا بشيء رتيب ولكن لا ننتهي الى شيء رتيب . انه احد احكام الطبيعة ان الاشياء تسير دوما من حالة رتيبة الى حالة فوضوية . وبهذه المناسبة لاحظوا ان كلمة رتابة ككلمة فوضى، هي مثال على تلك الكلمات التي تعني، عند الفيزيائي، شيئا يختلف عن المعنى الدارج . فالرتابة هنا لا شأن لها بما يمكن ان يشتميه الكائن البشري ؛ بل وبكل بساطة ، اما ان يكون لدينا حد فاصل، بعض في جهة والباقي في الاخرى ، او يكون لدينا اختلاط تام — تلك هما الرتابة والفوضى .

تعود المسألة اذن الى معرفة كيف امكن للجملة ان تكون رتيبة في البدء ولماذا ، عندما نعتبر وضعاً عادياً ليس فيه سوى رتابة جزئية ، يمكن ان نستنتج ان هذا الوضع آت على الأرجح من وضع كان أكثر رتابة ؟ اذا

رايت في وعاء ماء أزرق دامسا في جهة وماء صافيا في الجهة الاخرى وماء يميل للزرقة في الوسط وعلمت أن هذه الجملة متروكة وشأنها منذ عشرين أو ثلاثين دقيقة فسوف استنتج أن الانفصال كان ، قبل الآن ، أكثر كمالات . ولو انتظرت أكثر لأصبح المزج أكثر تداخلا . ولو علمت أن هذه الجملة لم تمس منذ وقت طويل لاستنتجت شيئا ما عن حالتها الماضية . أن التطور المنتظم للون في المنطقة الوسطى لا يمكن أن يأتي الا من انفصال أكثر حدة في الماضي ؛ وفي الحقيقة : لو لم يكن الانفصال أكثر حدة لكان للمزيج وقت كاف لكي يحدث بشكل أكثر كمالات . فمن الممكن إذن أن نستنتج من الحاضر شيئا مؤكدا عن الماضي .

وفي الواقع ليس هذا ، بصورة عامة ، ما يفعله الفيزيائيون . فهم أميل إلى الاعتقاد بأن المسائل التي يجب حلها هي من النوع « تلك هي الظروف الحاضرة ، ماذا سيحدث الآن ؟ » لكن جميع علومنا الاخرى تعالج مسائل مختلفة تماما . إذ أن جميع مواضيع الدراسات الاخرى - التاريخ والجيولوجيا وتاريخ الفلك ... - تطرح قضايا من نوع آخر . فالتنبؤات التي تقوم بها هذه العلوم هي ، كما يبدو لي ، من نوع مختلف تماما عن قضايا الفيزيائيين . فالفيزيائي يقول : « في هذه الظروف وتلك ، سأقول لكم ما سيحدث بعدها » ؛ لكن الجيولوجي يقول شيئا كالتالي : « لقد حفرت في الارض فوجدت عظاما معينة . وانتبا أنكم لو حفرتم بالقرب من هنا فستجدون عظاما مشابهة » . والمؤرخ ، رغم أنه يهتم بالماضي ، يمكن أن يفعل ذلك عند الكلام عن المستقبل ؛ فعندما يقول ان الثورة الفرنسية قد حدثت عام ١٧٨٩ فإنه يعني أنكم لو فتشتم في كتاب آخر يبحث في الثورة الفرنسية لوجدتم نفس التاريخ ؛ فيقوم ، بهذا التعبير ، بنوع من التنبؤ عن شيء لم يشاهده بعد ، عن وثائق ما تزال قيد الاستكشاف . ونسأله كيف يمكن ذلك ؛ والجواب الوحيد هو أن نفترض أن العالم كان ، في الماضي وبهذا المعنى ، أكثر رقابة مما هو عليه اليوم .

لقد اقترح بعضهم أن العالم كان قد ترتب كما يلي : في البدء ، لم يكن العالم بأسره سوى حركات فوضوية كالماء الخليط . وقد رأينا أننا



لو انتظرنا الوقت الكافي ، ازاء عدد قليل من الذرات ، قد نشاهد انفصالا يحدث بالصدفة . فاقترح بعض الفيزيائيين ( منذ قرن مضى ) فكرة أن العالم ، خلال حياته ، لا يقوم الا بعمليات تفاوت . ( وكلمة تفاوت تعني هنا انحرافا صغيرا للحالة الراهنة عن الحالة الطبيعية النسبية فوضويا ) وهذا التفاوت يتناقص الآن من تلقاء ذاته . لكنكم ستقولون : « لكن فكر في الزمن الذي يجب أن ننتظر كي يكون لنا حظ في رؤية تفاوت عظيم كهذا » . وانا اعلم ذلك حقا ؛ لكن ، لو لم يكن التفاوت على درجة من العظم تؤدي الى تطور يولد مخلوقات ذكية لما كان هنا انسان يهتم به ؛ اذ لا بد من انتظار وجودنا ، نحن ، كي نهتم به — ووجودنا يحتاج الى تفاوت هو ، على الاقل ، بنفس العظم<sup>(١)</sup> . لكنني اعتقد ان هذه النظرية ليست صحيحة . اعتقد انها نظرية حقا للسبب التالي : اذا كان العالم اكبر بكثير ، بذراته المتناثرة في كل مكان والمتخالطة منذ البدء ، ورصدنا الذرات في منطقة ما فوجدناها منفصلة عن بعضها فليس من سبب يجعلني استنتج ان الذرات منفصلة عن بعضها في غير هذه المنطقة ؛ بل على العكس : لو وجد التفاوت ولاحظت شيئا غريبا في منطقة ما فالاحتمال الاكبر هو عدم وجود شيء غريب في غير هذه المنطقة ، والا ، يجب ان تقف كثير من الصدف الى جانبي — أن اكون انسانا محظوظا جدا — كي تحدث كل هذه الشذوذات معا — لكن يجب ان لا نعتد كثيرا على الحظ ! ففي تجربة الماء ، الازرق والصافي ، اذا حصل وانفصلت الذرات في منطقة صغيرة من المزيج ، فان الحالة الاكثر احتمالا لباقي الماء هي الاختلاط التام . وعلى هذا وبالرغم من أننا لدى رصد النجوم ، رصد العالم ، نرى كل شيء مرتبا جيدا ، فان التنبؤ يقضي بأننا عندما نفحص منطقة كانت مجهولة سنجد الفوضى والاختلاط . وبالنتيجة ، اذا كان انفصال المادة الى نجوم وفضاء — والنجوم ساخنة والفضاء بارد — ناجما عن التفاوت فيجب أن نتوقع عدم وجود نجوم منفصلة عن باقي الفضاء

---

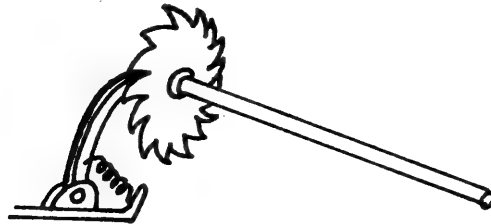
(١) لفهم هذه المحاكمة جيدا يجب أن لا يفرب عن بال القارئ ان الحالة الطبيعية هي الفوضى التامة ، والتفاوت هو انحراف نحو الرتبة وهو ، على هذا الاساس ، شلولة عن الحالة الطبيعية . ( المترجم )

في المناطق التي لم نرصدها بعد . لكن بما أننا نعتقد أننا ، في الأماكن التي لم نشاهدها بعد ، سنجد نجوما في حالة طبيعية ، أو سنقرأ تاريخ نابليون كما جرى ، أو سنرى عظاما شبيهة بتلك التي رايناها قبلئذ ، فإن نجاح هذه العلوم يدل على أن العالم لا يأتي من تفاوت بل يأتي من حالة كان فيها منفصلا ، أكثر رتابة ، في الماضي منه في الحاضر . وهكذا اعتقد أنه يجب أن نضيف إلى قوانين الفيزياء فرضية أن العالم كان أكثر رتابة ، بالمعنى الفني المذكور آنفا ، منه اليوم - أظن أن هذه الفرضية لازمة لجعل مفهوم الالاعكوسية ذا معنى وقابلا للفهم .

أن نص هذه الفرضية نفسه مفلوط ، بدهيا ، في الزمان : أنه يؤكد ، بشكل ما ، أن الماضي يختلف عن المستقبل لكن هذا يخرج عن نطاق ما نسميه عادة قوانين فيزيائية ، لأننا نميل اليوم إلى التفريق بين القوانين الفيزيائية ، التي تقرر القواعد التي يسير بموجبها العالم ، عن القانون الذي يدل على حالة العالم في الماضي . لأن هذا القانون الأخير يعد من مجال التاريخ الفلكي ؛ وربما ينضم هذا القانون في المستقبل إلى نطاق الفيزياء .

هذا ويوجد بعض جوانب مهمة أخرى لموضوع الالاعكوسية ، وأريد أن أشرحها . فهناك جانب يستحق الدراسة خصوصا وهو : كيف تعمل حقا آلة لالاعكوسة ؟

لننشئ جهازا نتأكد أنه لا يمكن أن يعمل إلا في اتجاه واحد . اختار دولا با مسننا في محيطه كالمشمار . وكل سن له انحدار شديد في إحدى

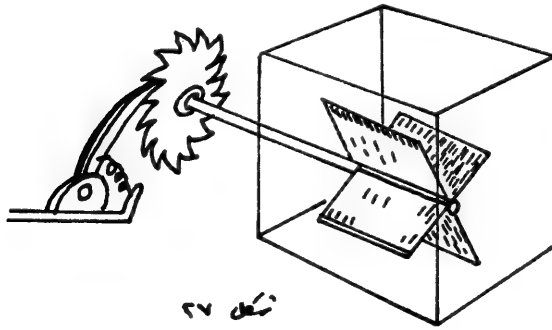


شكل ٢٦

جهتيه وانحدار خفيف في الجهة الاخرى . هذا الدولاب يدور حول محوره ؛ ويوجد لسان يلعب دور سقاطة تدخل بين أسنان الدولاب من طرفها المدبب وطرفها الآخر مثبت مع امكانية دوران حول محور صغير كما في الشكل ٢٦ ، كما يوجد نابض صغير يعيد السقاطة دوما الى الفجوة بين سنين .

ان هذا الدولاب لا يمكن ان يدور الا في اتجاه واحد . واذله حاولتم تدويره في الاتجاه الآخر فان السقاطة الداخلة في الفجوة تمنعه من ذلك . اما في الاتجاه المسموح به فان رأس السقاطة ينزلق بسهولة على الانحدار الخفيف للسن ( أنتم تعرفون هذا التركيب ، فهو يستعمل في المقاتيات وساعات اليد ) . ان هذا التركيب لاعكوس تماما لان الدولاب لا يمكن ان يدور الا في اتجاه واحد .

والآن يمكن ان نتصور استعمال هذا التركيب ، هذا الدولاب الوحيد الاتجاه ، بشكل مفيد ومهم . فأنتم تعلمون ان الجزيئات لها حركة فوضوية دائمة ، وعندما تصطدم جزيئات الهواء بصفيحة خفيفة فانها تسبب للصفيحة ارتجافا ضعيفا تحت وطأة هذه الصدمات . وعلى هذا الاساس لنركب ، على محور دولابنا السابق ، أربع صفيحات رقيقة نضعها ضمن علبة من الزجاج مليئة بالهواء كما في الشكل ٢٧ .



شكل ٢٧

ان الصفيحات في العلبة تعاني على الدوام رجما فوضويا من قبل جزيئات الهواء في العلبة . بعض هذه الصدمات يدفع الصفيحة باتجاه وبعضها الآخر في الاتجاه الآخر . لكن السقاطة تمنع الدوران في أحد الاتجاهين وتسمح له بالاتجاه الآخر ، مما يجعل الدولاب يدور على الدوام

في الاتجاه المسموح ونحصل على نوع من الحركة الدائمة . وما ذلك الا لان الدولاب المسنن لاعكوس .

ولكن لنفحص هذه العملية بامعان . عندما تشتغل الآلة فان الدولاب ، عندما يدور في الاتجاه المسموح ، يرفع السقاطة حتى تهوي فجأة في الفجوة . ولكنها عندئذ تنزو . فاذا كانت المرونة كاملة فان السقاطة ستنزو وتنزو باستمرار . واثناء نزوها نحو الاعلى يمكن للاسنان ان تمر من تحتها ، حتى في الاتجاه الممنوع . وعندها لا تشتغل الآلة كما نريد ، اللهم الا اذا تدبرنا الامر بحيث تبقى السقاطة في الفجوة او لاتنزو اكثر من مرة او مرتين ، ولكي لا تنزو يجب ان نقوم بعملية اخماد لنزوها . والاخماد يولد احتكاكا . فالسقوط وانزلاق السقاطة على سفح السن وارتطامها بقعر الفجوة والاخماد - ضرورية لكي تشتغل الآلة باتجاه واحد - كل ذلك يولد حرارة تؤدي الى تسخين الدولاب اكثر فاكثر . وعندما يسخن كثيرا يتدخل شيء جديد في الموضوع . وكالغاز الذي ذراته في حالة هياج حراري داخل العلبة حول الصفيحات ، فان الدولاب والسقاطة يبدآن ، تحت تأثير السخونة ، بالاضطراب اكثر فاكثر وبشكل فوضوي . وسيأتي وقت يصبح فيه الدولاب والسقاطة ساخنين للدرجة ان السقاطة تروح تقفز باستمرار وتنزو صعودا وهبوطا على الدولاب بسبب هياج ذراتها العنيف ، نفس الهياج الحراري الذي يتسبب في تدوير الصفيحات . واثناء نزوات السقاطة يمكن لاسنان الدولاب ان تمر من تحتها في الاتجاهين . وهكذا لا يعود لدينا آلة في اتجاه واحد . فهي يمكنها ان تدور في الاتجاه المعاكس للاتجاه الذي نتوقع لان ، في كل مرة تنزل السقاطة ، سوف تنزل على السفح الضعيف الانحدار وتدفع الدولاب في الاتجاه المضاد ؛ ثم تنزو وتهوي من جديد على السفح الضعيف الانحدار التالي ؛ وهكذا عندما يصبح الدولاب أسخن من الصفيحات يدور الدولاب في الاتجاه السيء .

لكن أين تتدخل ، في هذا التركيب ، درجة حرارة الفاز حول الصفيحات ؟ لنفترض اننا حذفنا هذا الجزء من الجهاز . فالسقاطة ،

التي تهوي على السفح الضعيف الانحدار تدفع الدولار ، عندئذ وفي كل مرة ، في الاتجاه المعاكس ( بالقلوب ) ، وبعدها يأتي حالا السفح الشديد الانحدار ليرتطم بالسقطة وينزو ، بالدولاب كله ، في الاتجاه الآخر ( المسموح ) ؛ ولنع نزوات الدولار نخمدها بواسطة صفيحات نثبتها على المحور وتتكفل مقاومة الهواء لحركة الصفيحات باحداث الاخمد المطلوب لنزوات الدولار . وعندها لا يدور الدولار الا في اتجاه واحد ( بالقلوب ) . والنتيجة العامة لذلك كله هي : ان دولابا من هذا النوع ، في اي تركيب كان ، يدور في اتجاه معين اذا كان احد الطرفين اسخن من الآخر ، اما اذا كان هذا الطرف ابرد فان الدولار يدور في الاتجاه الآخر . ولكن بعد ما يحدث التبادل الحراري بين الطرفين ، الدولار والصفيحات ، ويصبحان في درجة حرارة واحدة فان الآلة تتوقف عن الدوران . تلك هي التفاصيل التقنية لاسباب تطور الحوادث الطبيعية في اتجاه معين عندما لا يوجد توازن ، اي ما دام احد الطرفين اكثر هياجا من الآخر ، او اكثر زرقة .

ان انحفاظ الطاقة قد يوحي لنا بامكانية الحصول على طاقة قدر ما نريد . ان الطاقة في الطبيعة لا تزيد ولا تنقص . وان طاقة البحر ، طاقة الهياج الحراري لذراته ، لا يمكن عمليا الاستفادة منها . ولكي نستطيع ذلك ، لكي نستطيع ترويضها وجعلها مفيدة ، لا بد من استخدام فرق حراري لا يمكن بدونه ان نستغل هذه الطاقة بالرغم من وجودها . فهناك فرق كبير بين كمية الطاقة وجاهزيتها للاستخدام . ان طاقة البحر هائلة لكنها ليست جاهزة ، كما هي ، للاستخدام .

وانحفاظ الطاقة يعني ان الطاقة الكلية في العالم تبقى ثابتة على قيمتها . لكن كل هذا الهياج الفوضوي يمكن ان يوزع هذه الطاقة في الفضاء بشكل متساو نسبي لدرجة أنها ، في بعض الظروف ، لا يمكنها ان تدفع الاشياء لتسير في اتجاه معين لا في الاتجاه الآخر ؛ ولا قدرة لنا ، والحالة هذه ، على استغلالها .

وساحاول استخدام تشبيه يسمح لكم بتقدير هذه الصعوبة . لا

ادري اذا كان قد حدث لكم - لا شك نعم - ان كنتم جالسين على شاطئ البحر ( البلاج ) وحولكم عدة مناشف وانهمر عليكم فجأة مطر غزير ؛ فجمعتم مناشفكم على عجل وهرعتم راكضين نحو حجيراتكم الشاطئية ؛ وهنا تبادون بتنشيف انفسكم فتجدون المنشفة الاولى رطبة قليلا ولكن انشف منكم ؛ فتستمرون في التنشيف بها الى ان تشعروا انها صارت مبلولة اكثر من اللازم فاصبحت تبلكم بقدر ما تنشفكم ؛ فتأخذون غيرها . وهكذا تكتشفون في النهاية ، بكل اسف ، ان جميع المناشف مبلولة وانتم ما تزالون مبلولين . فبالرغم من كل مناشفكم لن تتوصلوا الى تنشيف جلودكم تماما لانه لم يعد يوجد فرق بين بلل جلودكم وبلل المناشف . وهنا يمكن ان اخترع كمية اسميها « قابلية امتصاص الماء » . فالمنشفة لها ، في النهاية ، نفس قابلية امتصاص الماء التي لكم مما يجعلها تمتص منكم ، اثناء عملية التنشيف ، ماء بقدر ما يأخذ جلدكم منها . لكن هذا لا يعني ان المنشفة فيها من الماء قدر ما على جلدكم - المنشفة الكبيرة تحوي ماء اكثر من المنشفة الصغيرة ، ولكن لها نفس الرطوبة ( البلل ) . فعندما تصل الاشياء كلها الى رطوبة واحدة لا يمكن عمل شيء .

والماء هنا كالطاقة هناك . كمية الماء الكلية لا تتغير . ( اذا كان باب الحجرية مفتوحا وركضتم في الشمس كي تنشف جلودكم ، او وجدتم منشفة اخرى اكثر جفافا فقد انقذتم انفسكم . ولكن افترضوا ان الحجرية مغلقة ولا شيء عندهم غير هذه المناشف ، فلا تجدون سواها ) . وبمحاكمة مماثلة ، اذا تصورتكم منطقة معزولة من العالم - انعزلت بفعل احدي صدف الطبيعة - فان الطاقة ، كالماء في مثالنا ، تتوزع بالتساوي حتى لا يعود اي شيء توجيهي ذي اتجاه واحد وعندها لا يمكن ان نجني اية فائدة من هذا العالم .

وهكذا في تركيبنا ذي الدولاب المسنن والسقاطة ، وهو جملة معزولة لا يتدخل فيها شيء ، تتساوى درجتا الحرارة في الطرفين ولا يعود الدولاب يدور في اي من الاتجاهين ، وبالصورة نفسها ، في كل جملة معزولة لشأنها تسعى الطاقة لتتوزع عليها بتساو احسن حتى اننا لن نستطيع في النهاية ان نجني منها اية ثمرة .

وبهذه المناسبة فان الشيء الذي يقابل الرطوبة أو « قابلية امتصاص الماء » يسمى درجة الحرارة . وبالرغم من اننا نقول عن شيئين بدرجة حرارة واحدة انهما في حالة توازن حراري فان هذا لا يعني انهما يحتويان على طاقتين متساويتين بل يعني انهما متساويان في سهولة ( أو صعوبة ) استخراج الطاقة منهما . فدرجة الحرارة هي « قابلية امتصاص الطاقة » ولهذا السبب فانهما ، عندما يوضعان جنبا الى جنب لا يحدث ظاهريا اي شيء ؛ فهما يتبادلان طاقتين متساويتين ونتيجة التبادل معدومة . وهكذا عندما تتساوى درجات الحرارة كلها لا توجد طاقة جاهزة . ومبدأ الالاعكسية هو : اذا عزلنا اشياء معا وكانت في درجات حرارة مختلفة فيما بينها فان درجات الحرارة هذه لا تلبث ان تتقارب فيما بينها شيئا فشيئا بمرور الزمن ، واثناء ذلك تتناقص باستمرار جاهزية الطاقة للاستخدام .

ولهذه النتيجة اسم آخر هو قانون الانتروبية وينص على أن الانتروبية تزداد دوما . ولكن لنترك هذه الكلمات ولنقل بالاحرى أن جاهزية الطاقة تتناقص دوما . وهذه احدى خاصيات العالم وسببها فوضى الحركات الذرية . اذا عزلنا جسمين لوحيدهما فان درجتى حرارتهما ستتساويان . ولو وضعتم معا جسمين لهما درجة حرارة واحدة ، ماء على موقد منطفئ فلن نرى الماء يتجمد والموقد يسخن . لكنكم اذا وضعتم جليدا على موقد مشتعل فان الحرارة ستمر في اتجاه واحد . فالاتجاه الواحد يؤدي دوما الى خسارة في جاهزية الطاقة .

هذا كل ما أردت قوله حول هذا الموضوع ، لكنني سأضيف بعض الملاحظات على بعض الجوانب . فنحن لدينا هنا مثال على مفعول بدهي ، هو ان الالاعكسية ليست نتيجة مباشرة للقوانين بل هي ، على العكس ، نتيجة بعيدة للقوانين الاساسية . ولا بد من تحليل طويل كي نفهم تفسير هذا المفعول . ولكنه ، مع ذلك له الاهمية الاولى في تدبير شئون العالم ، في تطور العالم الفعلي لدى جميع الحوادث الواضحة . فالذاكرة والسلوك الشخصي والتميز بين الماضي والمستقبل تتعلق به كليا ؛ ومع ذلك فان تفسيره لا ينتج بدهيا من معرفة القوانين ، بل يتطلب تحليلا طويلا .

هذا ويوجد غالبا بون شاسع بين القوانين التفصيلية والمظاهر الاساسية لظاهرة واقعية . فعندما تشاهدون ، مثلا ، جمودية من بعيد أو تراقبون قطعا ضخمة من الجليد تسقط في البحر وترون كيف يتحرك الجليد ... الخ ، ليس من المهم والاساسي أن تتذكروا أن الجمودية مصنوعة من بلورات صغيرة سداسية . ومع ذلك لو حللنا ذلك بشكل جيد ، فإن حركة الجمودية هي في الواقع نتيجة لخواص هذه البلورات السداسية . ولكن لا بد من زمن طويل لفهم سلوك الجمودية ( الحقيقة أن أحدا لا يعرف الجليد بشكل جيد ، بالرغم من جميع الدراسات التي أجريت على بلوراته ) غير أننا نأمل ، في النهاية ، أن نفهم الجمودية بعد أن نفهم بلورة الجليد .

وبعد كل شيء ، وبالرغم من أن موضوع هذه المحاضرات هو اساس قوانين الفيزياء ، يجب علي أن أقول لكم أن معرفة قوانين الفيزياء كما نعرفها اليوم لا تؤدي الى أن نفهم الامور مباشرة ودون عناء . بل أن هذا يستغرق وقتا ؛ ومع ذلك يبقى هذا الفهم جزئيا ، حتى ليبدو أن الطبيعة مكونة بشكل يجعل أهم الاشياء في عالم الحقيقة تبدو نتائج معقدة وعرضية لعدد كبير من القوانين .

وكمثال آخر أسبق نوى الذرات ؛ وهي كائنات معقدة جدا تحتوي على عدة جسيمات نووية : البروتونات والنترونات ؛ وفيها ما نسميه مستويات طاقة . أي أن النواة يمكن أن توجد في عدة حالات تتصف كل منها بمستوى طاقة . ولكل نواة مجموعة مستويات خاصة بها تميزها عن سواها . وحساب اوضاع مستويات الطاقة هذه هو مسألة عويصة لا نعرف حلها الا بشكل جزئي ؛ لان هذه الاوضاع تتعين بأفعال متبادلة على درجة كبيرة من التعقيد . فلا يوجد إذن سر خفي في أن الآزوت ، بجسيماته الخمس عشرة ، له مستوى على ٢٤ مليون فولت ومستوى آخر على ٧ مليون فولت ... الخ . لكن الشيء العجيب في الطبيعة هو أن خاصية العالم كله تتوقف على موضع مستوى خاص بالذات في نواة معينة . ففي نواة الفحم ١٢ يوجد ، هكذا ، مستوى على ٧٨٢ مليون فولت . وهذا يؤثر في كل شيء .



واليكم شرح ذلك . لنبدأ بالهدروجين ، اذ يبدو ان العالم كان في البدء لا يحوي عمليا سوى الهيدروجين . وكلما تكاثف هذا الهيدروجين ، بفعل التجاذب الثقالي ، سخن وتحدث تفاعلات نووية يمكن ان تشكل الهليوم ، وهو بدوره يلتحم جزئيا بالهدروجين ليشكل بعض عناصر أثقل قليلا . لكن هذه العناصر الاثقل تتفكك مباشرة ومن جديد الى هليوم . وخلال زمن ما يبقى ، اذن ، اصل جميع العناصر الاخرى في العالم سرا كبيرا لان هذا الطبخ المنطلق من الهيدروجين والذي ينضج في النجوم لا يمكن ان يعطي ، على ما يبدو ، شيئا غير الهليوم وبضعة عناصر اخرى . وازاء هذه المعضلة اقترح هويل وسالبيتر<sup>(١)</sup> حلا ممكنا : بما ان ثلاث نوى هليوم يمكن ان تشكل بلقائها نواة فحم يمكننا ان نحسب بأي تواتر يحدث ذلك في النجوم . وتبين بنتيجة الحساب ان هذا لا يحدث ابدا الا اذا صدف ان الفحم يتشكل في المستوى الطاقى ٧٨٢ مليون فولت . وفي هذه الشروط ، عندما يلتقي ثلاث نوى هليوم فانها ستبقى ملتحمة معا زمنا اطول قليلا ، وسطيا ، مما لو كان هذا المستوى غير موجود . واذا حدث فان الزمن هذا يكون كافيا لحدوث اشياء اخرى ، لصنع عناصر اخرى . فالفحم ، اذا تشكل في المستوى ٧٨٢ مليون فولت ، يفسر كيف تتشكل العناصر الاخرى الواردة في الجدول الدوري للعناصر . وبهذه المحاكمة ، التي اقترحت قبل ان يكتشف المستوى ٧٨٢ مليون فولت ، امكن التنبؤ عن هذا المستوى ثم ايدت التجارب وجوده . ونتيجة ذلك ان وجود كل هذه العناصر في الطبيعة يتوقف كثيرا على وجود هذا المستوى الخاص في الفحم . لكن قيمة هذا المستوى تبدو لنا ، نحن العالمين بقوانين الفيزياء ، مجرد صدفة عويصة للتفاعلات المعقدة بين ١٢ جسيما . ومغزى هذه الحكاية كلها انها توضح بجلاء ان معرفة قوانين الفيزياء لا تعين ، آليا ومباشرة ، في فهم الحوادث الكبرى في هذا العالم؛ فتفاصيل التجربة الواقعية هي غالبا بعيدة جدا عن القوانين الاساسية الكبرى .

---

(١) فريد هويل ، فلكي - فيزيائي بريطاني من كمبردج . ادوين سالبيتر ، فيزيائي امريكي من جامعة كورنيل .

هذا ويمكن أن ندرس ونناقش هذا العالم على درجات وفق تسلسل معين . وأنا لا أقصد أن أكون دقيقا فأقسم العالم الى درجات معينة ، لكني سأشرح لكم ما أعنيه من خلال بعض الامثلة .

فنحن عندنا ، في طرف ، القوانين الاساسية للفيزياء . ثم نخترع مفاهيم تقريبية تتفسر في النهاية ، او هكذا نتوقع ، بتداخل القوانين الاساسية . كمفهوم « الحرارة » مثلا . ان الحرارة ليست سوى هياج ، وقولنا ان جسما « حار » يعني بكل بساطة أن كوما من الذرات في حالة هياج لكن عندما نتكلم عن الحرارة يمكن ان ننسى ، لفترة ، هياج الذرات — كما أننا ، عندما نتكلم عن الجمودية ، لا نفكر باستمرار بهطول الثلج ولا ببلورات الجليد السداسية . وكمثال آخر هناك بلورة الملح . انها ليست سوى بروتونات وترونات والكترونات ؛ لكن مفهوم « بلورة الملح » يحوي ضمنا وفي الاصل بنية من الافعال المتبادلة . وكذلك ايضا مفهوم الضغط .

وفي درجة اعلى نجد بعض خواص المادة — كقرينة الانكسار التي تصف سلوك الضوء عندما ينفذ في المادة ؛ او « التوتر السطحي » الذي يعبر عن أن المادة تتجمع على نفسها ، مفهومان يعبر عنهما باعداد . وهنا اذكركم أنه يلزمنا المرور بعدة قوانين قبل أن ندرك أننا ازاء تجاذب الذرات . لكننا نستمر في الكلام عن « التوتر السطحي » ولا نهتم بالميكانيكية الداخلية لهذا المفهوم عندما نستخدمه .

لنصعد ايضا درجة اخرى فنجد امواج البحر و « العاصفة » ، وهذه كلمة تمثل كمية كبيرة من الظواهر ؛ وكذلك « بقعة شمسية » و « نجم » اللتان تجمعان اشياء كثيرة . وفي هذه الدرجة لا يوجد غالبا ما يستحق الدخول في التفاصيل ؛ ونحن لو اردنا ذلك لن نستطيعه ، لاننا كلما صعدنا في هذا الدرج تراكمت الصعوبات وتناقصت قدرتنا على اجتيازها .

واذا استمررنا في الصعود سنصل الى مفاهيم مثل تقلص العضلات .

او الدفعة العصبية التي هي ذات تعقيدات جمة لدى الفيزيائي وتتم عن عملية تنظيم مدهش للمادة . وبعدها نصل الى أشياء مثل « ضفادع » .

ونصعد فنجد كلمات ومفاهيم مثل « انسان » و « تاريخ » و « سياسة » وهكذا ، سلسلة طويلة من الكلمات التي نستعملها لفهم العالم في درجة أعلى . وفي أعلى من ذلك نجد : الشر والجمال والامل ...

والآن ، اذا سمحتم لي بالاستعارة المجازية ، اي الطرفين اقرب الى الله ؟ الجمال والامل ام القوانين الاساسية ؟ ان ما يجب ان نقوله ، على ما ارى ، هو طبعا انه يجب ان نعتبر مجموعة الصلات المتبادلة البنيوية ، وان كل العلوم ، ليس فقط العلوم بل كل المجهودات الفكرية ، تسمى الى اظهار الصلات في التسلسل والى ربط الجمال بالتاريخ والتاريخ بفيزيولوجيا الانسان ، والفيزيولوجيا بعمل الدماغ والدماغ بالدفعات العصبية والدفعات العصبية بالكيمياء ، وهكذا نحو الاعلى او نحو الاخفض في الاتجاهين . واليوم ، لافائدة من ادعاء العكس ؛ فنحن لانستطيع بعد ان نضطلع تماما بايجاد الصلات كلها من احد الطرفين الى الاخر لاننا ما نزال في بدء الطريق لادراك هذا التسلسل النسبي .

واعتقد ان ايا من الطرفين ليس قريبا من الله . فالتمسك بأحد الطرفين والاصرار على السير في اتجاه الطرف الاخر ، بأمل التوصل الى فهم كامل ، موقف خطأ . فالانحياز الى طرف الشر والجمال والامل خطأ كالانحياز الى طرف القوانين الاساسية ، ظنا بإمكانية الوصول الى فهم العالم بشكل عميق عن طريق احد الاتجاهين . وليس من حق أنصار كل طرف ان يستخفوا بأراء الطرف الاخر ( الواقع ان هذا الاستخفاف غير موجود ، مهما ادعى الآخرون ) . وأكثر العاملين في هذا الحقل يقفون بين الطرفين . يصلون حلقة بأخرى ويحسّون باستمرار فهمهم للعالم ويشغلون في الطرفين وفي الوسط بحيث نتمكن شيئا فشيئا من فهم تسلسل الصلات في هذا العالم .

## الاحتمال والارتباب

### الصفات الكمومية للطبيعة

ان الحدس ، المستند الى الخبرة العادية في الامور اليومية ، هو الذي كان يوحى بالتفسير المعقولة للوقائع وذلك في اول عهد الانسان بالملاحظات التجريبية او بآية ملاحظات علمية اخرى . لكننا كلما امعنا في محاولتنا لتوسيع دائرة ملاحظتنا وربط اجزائها بعضا ببعض ، اي كلما ازداد عدد الظواهر التي نوليها اهتمامنا ، فان هذه التفسير لا تبقى مجرد تفسير بل تصبح مانسبها قوانين ولهذه القوانين خاصية غريبة : غالبا ماتبدو اقل فاعل معقولة ، اكثر فاكثرا ابتعادا عن الحدس الواضح . خذوا مثلا ، في نظرية النسبية ، هذه الفكرة : اذا رصدتم حادثين متزامنين ( يحدثان في لحظة واحدة ) ، فان هذا التزامن خاص بكم ، ويمكن لراصد آخر ان يكون قد رأى احد الحادثين قبل الاخر ؛ فالالتزامن ليس اذن سوى انطباع ذاتي .

ولا يوجد أي سبب لكي لا يكون كذلك : فنحن في الواقع نتناول في تجاربنا الدارجة عددا كبيرا من الجسيمات وحركات بطيئة جدا او ظروف اخرى خاصة جدا تجعل خبرتنا عن الطبيعة محدودة ولا تتعدى جزءا صغيرا من الظواهر الطبيعية التي تقع تحت تجاربنا المباشرة . لكن القياسات والتجارب الدقيقة هي الكفيلة وحدها باعطائنا صورة شاملة ؛ وهنا تحصل المفاجآت : فنجد اشياء تختلف عما كنا نتوقع او نتصور ، ونضطر الى القيام بمجهود كبير كي نحصل على تصور وفهم واقعيين لما حدث فعلا وغير مبنيين على اوهام زائفة . والذي اناقشه في هذه المحاضرة

هو موضوع من هذا القبيل . ولنبدأ بقصة النور . ففي القديم كان يظن ان النور يتصرف أساسيا مثل سيل من الجسيمات : كالطر أو كطلقات البندقية . وبعد بحوث عميقة تبين أن ذلك خطأ وأن النور يتألف من أمواج كالأمواج على سطح الماء مثلا . ثم ، في القرن العشرين ، أثبتت بحوث جديدة أن النور يتصرف ، في الواقع ورغم كل شيء ، كجسيمات في ظروف عديدة . وهذه الجسيمات يمكن عدها في المفعول الفوتوكهربائي - وتسمى اليوم فوتونات . أما الالكترونات فكانت تتصرف ، عند اكتشافها وبصورة طبيعية ، كالجسيمات تماما أو كرصايات البندقية . ولكن تبين فيما بعد ، في تجارب الانعراج مثلا ، أنها تتصرف أيضا كالأمواج . وبمرور الزمن كانت تزداد الحيرة والتساؤل حول السلوك الحقيقي لهذه الأشياء . هل هي أمواج أم جسيمات ؟ كل شيء أصبح يبدو ذا مظهرين معا .

لكن هذه الحيرة زالت ، حوالي عامي ١٩٢٥ و ١٩٢٦ ، باكتشاف المعادلات الصحيحة في ميكانيك الكم . ونحن نعرف اليوم كيف يتصرف الضوء والالكترونات . ولكن كيف نسمي هذا التصرف ؟ فإذا قلت أنها تتصرف كالجسيمات فإن هذا خطأ كالقول بأنها تتصرف كالأمواج . ان لها سلوكها الخاص بها ولا يوجد مايشبهه والذي يجب أن نسميه ، تكنيكيا ، كموميا ؛ وهو يختلف عن كل ما الفتموه . والخبرة التي حصلتم عليها من تجاربكم العامة كلها غير كافية . فسلوك المادة في عالم الصغائر هو ، بكل بساطة ، سلوك مختلف . ان الذرة لا تتصرف مثل ثقل ينوس في طرف نابض كما أنها لا تتصرف كنموذج مصغر لجملة شمسية ذات كواكب صغيرة تدور في مسارات صغيرة . وليس لها مظهر غيمة أو ضباب يحيط بالنواة . انها لا تشبه أي شيء آخر رأيتموه .

ومع ذلك يوجد شيء من البساطة . ان الالكترونات ، من وجهة النظر هذه ، تتصرف كالفوتونات تماما ؛ وهي جميعا مجنونة ولكن بالاسلوب نفسه تماما .

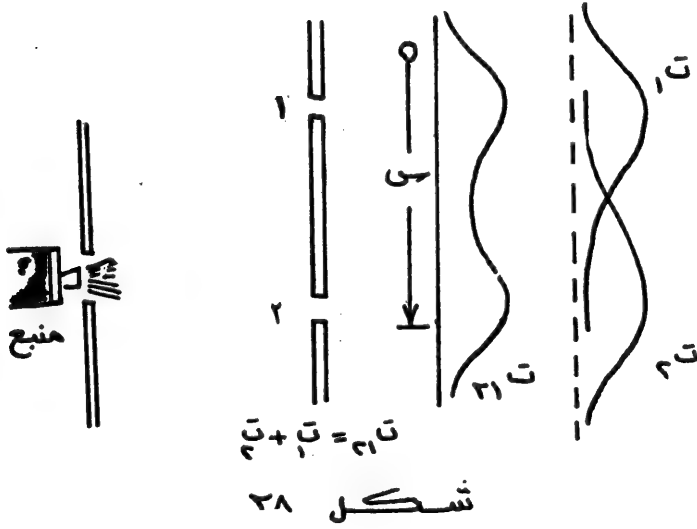
لابد اذن من قدر كبير من الخيال لتصور هذا السلوك لاننا سوف نشرح شيئا يختلف عن كل ماتعرفون . وربما كانت هذه المحاضرة ، من

وجهة النظر هذه على الاقل ، اصعب محاضرات هذه السلسلة . وليس الذنب ذنبي . فلو اقيت سلسلة محاضرات عن الفيزياء وقوانينها ولم اتعرض لوصف السلوك الحقيقي للمادة في سلم الصفائر اكون بالتأكيد قد اخللت بواجبي . وهذا السلوك صفة تشترك فيها جميع الجسيمات في الطبيعية ؛ انها صفة شاملة ، واذا اردتم ان اتكلم لكم عن طبيعة قوانين الفيزياء فمن الاساسي ان اناقش هذا الجانب الخاص .

سيكون ذلك صعبا . لكن الصعوبة هي في الواقع نفسانية وتكمن في هذا العذاب الذي سوف تسببه لكم خواطر مثل « ولكن كيف يمكن ان يكون الامر هكذا » خواطر تعكس رغبة جامحة في العودة الى صورة مألوفة لكنها رغبة لاتجدي . ولن الجأ الى وصف تشبيهي بظروف مألوفة بل الى وصف فحسب . لقد ذكرت الصحف يوما ما انه لا يوجد سوى اثني عشر رجلا يفهمون نظرية النسبية . لا اعتقد ان ذلك كان صحيحا ؛ بل ربما كان هناك رجل واحد فقط فهمها ؛ لانه قبل ان يكتب مقالته كان الوحيد الذي استوعبها . لكن كثيرا من الناس قد فهموها بشكل او باخر قبل قراءة المقالة وكانوا حتما اكثر من اثني عشر . لكنني بالمقابل اعتقد ان باستطاعتي القول انه لم يفهم احد ميكانيك الكم . لكن لاتبالغوا في اعتبار هذه المحاضرة مأساة بل حاولوا باي ثمن ان تفهموا ، بأي شكل كان ، ما ساصف لكم . فاهدأوا واعتبروا ذلك تسلية لكم . سأروي لكم كيف تتصرف الطبيعة . واذا رغبتم في ان تقبلوا ، بكل بساطة ، انها تتصرف كما سأقول فسوف تجدونها جذابة وساحرة . واذا استطعتم ان تسكتوا عن أسئلة مثل « كيف يمكن ان يحدث هذا ؟ » فافعلوا ، والا فسيفوصون وتغرقون في لجة عميقة لم يخرج منها انسان قط . فلا احد يدري كيف يمكن ان يحدث هذا .

سأفصل لكم اذن سلوك الالكترونات والفوتونات في أسلوبها الكمومي النموذجي . وسأستخدم مزيجا من التشبيهات والخلافات . ولواستخدمت تشبيهات فقط لن اتوصل الى مبتغاي ؛ فلا بد ، اذن وايضا ، من استخدام الخلافات بينها وبين ظواهر اخرى مألوفة لديكم . وسأدقق في هذه

التشبيهات وهذه الخلافات فيما يخص سلوك الجسيمات أولا وتشبيهها بطلقات البندقية مثلا ، وفيما يخص سلوك الامواج ثانيا وتشبيهها بالامواج على سطح الماء مثلا آخر . وسأخترع تجربة معينة واروي لكم ماسيحدث لو اجريتها أولا على جسيمات ثم على امواج ، واخيرا باستعمال الالكترونات حقيقية او فوتونات . ولن اهتم بغير هذه التجربة التي رتبت بحيث تحتوي على سر ميكانيك الكم كله وذلك كي اضعكم في مواجهة غرائب الطبيعة واسرارها وخصائصها مائة في المائة . وواقع الامر انه يمكن دوما شرح اي ظرف في ميكانيك الكم بالقول : « تذكروا حالة تجربة الثقبين . انها مثل هذه الحالة » . والان اروي لكم قصة الثقبين . ان فيها كل السر . لن اتجنب اي شيء ساكشف عن الطبيعة غطاءها واعربها في اكثر مظاهرها اناقة وصعوبة .



لنبدا برصاصات ( شكل ٢٨ ) . افترضوا ان لديكم منبع رصاصات، رشاشا يقع وراء لوح من الصفيح فيه ثقب تمر منه الرصاصات . وعلى بعد كبير وراءه يوجد صفيح آخر فيه ثقبان - هما الثقبان الشهيران . وبما انني سأتكلم عنهما كثيرا فسوف اسميهما ثقب رقم ١ وثقب رقم ٢ .

يجب 'ن' تتصوروا ثقبين مدورين في ثلاثة ابعاد ، ويمثل الشكل مقطعهما .  
ووراء هذا الصفيح الثاني وعلى مسافة كافية نضع لوحة ، حاجزا بوقف  
الرصاصات ، ونوزع عليها ، في كل مكان ، عددا كبيرا من الاجهزة التي  
تشعر بوصول الرصاصات ( ونسميها مشعرات ) ؛ ففي حالة الرصاصات  
يمكن أن يكون المشعر علبة مليئة بالرمل توقف الرصاصات بحيث يمكن  
عدها . وتعود تجاربي الى احصاء الرصاصات التي تدخل في المشعر ، في  
علبة الرمل ، بحسب مكانها . ولتعيين المكان اقيس المسافة بين العلبة  
ونقطة ثابتة ، واسمي هذه المسافة س ، وسأصف لكم ما يحدث عندما  
أغير س ، اي عندما أنقل المشعر من الاعلى نحو الاسفل مرحلة فمرحلة .  
وأريد ، قبل كل شيء ، أن أجعل التجربة مثالية بفضل ثلاثة تحويلات  
طفيفة . افترض أولا أن الرشاش يضطرب في مكانه باستمرار وفي جميع  
الاتجاهات بحيث تخرج منه الرصاصات في جميع الاتجاهات وليس فقط  
نحو الامام . فيمكن لبعضها اذن أن ترتطم بالصفيح المحيط بالثقوب  
وترتد عنه . ثانيا ، نقبل أن للرصاصات كلها سرعة واحدة ، بالرغم من  
أن هذه الفرضية ليست هامة جدا . والتحويل الثالث هو الذي يجعل  
التجربة المثالية ذات اختلاف كبير عن الحالة الواقعية للطلقات ، وهو  
يتطلب أن تكون الرصاصات غير قابلة للفناء ، بحيث أنني سأجد في العلبة  
رصاصات كاملات وليس قطعاً متكسرة ؛ وهذا يتحقق اذا كانت الرصاصات  
قاسية جدا والواح الصفيح مرنة .

وبموجب هذا التشبيه نلاحظ أن الرصاصات تنطلق واحدة بعد  
واحدة . وعندما تصل الطاقة الى العلبة تصل مع الرصاصة دفعة واحدة  
وعندما تعدون الرصاصات تحصونها : واحدة ، اثنتان ، ثلاث ، أربع  
رصاصات : اي أنها تصل على شكل وحدات . وفي هذه الحالة نفترض  
أن لها جميعا حجما واحدا ؛ فكل رصاصة تصل الى العلبة كاملة او لاتصل  
بالمرة . وأضيف أنني لو وضعت علبتي رمل فلن أحصل في لحظة واحدة  
على رصاصتين ، كل واحدة في علبة . وسأفترض أن الرشاش لا يطلق  
بتواتر عال جدا بل يعطيني بين كل طلقتين الوقت الكافي كي أفحص ما حدث  
فعندما يطلق الرشاش بتواتر ضعيف نفحص سريعا ما يحدث : لن نرى



ابدا ، في وقت واحد ، رصاصة في كل علة ، لان كل رصاصة تؤلف وحدة قائمة بذاتها .

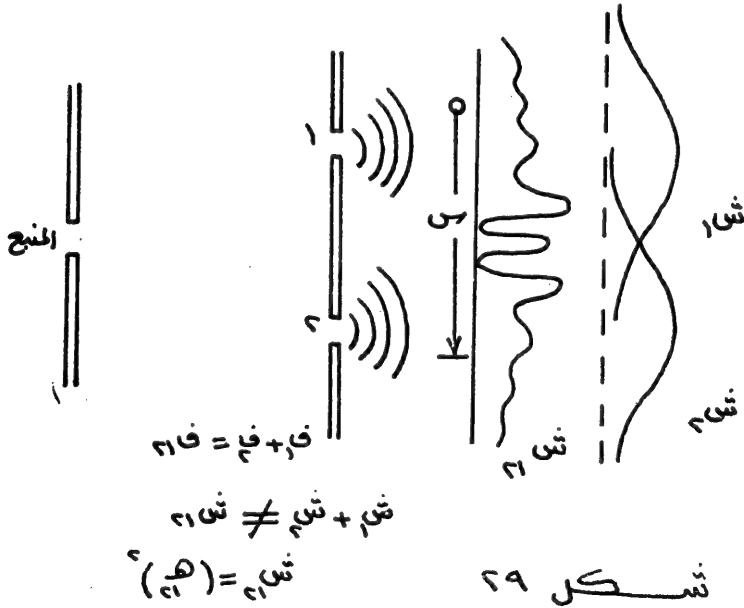
والآن احصي العدد الوسطي للرصاصات التي تصل الى العلة خلال فترة معينة من الزمن . لنقل اننا ننتظر ساعة ثم نعد الرصاصات في العلة ، وهكذا ساعة بعد ساعة ثم نحسب وسطي عدد الرصاصات . لنهتم بهذا الوسطي . يمكن أن نسميه احتمال الوصول لانه يعبر عن حظ كل رصاصة في اجتياز الثقوب والوصول الى العلة في مكانها المعين بالمسافة س . لاشك أن عدد الرصاصات التي تصل الى العلة يتغير عندما أغير س . وقد كتبت على الشكل ٢٨ أفقيا عدد الرصاصات التي أعثر عليها في العلة عندما أبقيا مدة ساعة في كل نقطة من الحاجز الثالث . وأحصل على منحن يشبه تقريبا المنحني ت<sub>٢١</sub> ، لان العلة ، عندما توجد وراء أحد الثقبين مباشرة ، تستقبل عددا كبيرا من الرصاصات ؛ وهذا العدد يتناقص كلما انحرفت العلة جانبيا مبتعدة عن الثقب ، لان الرصاصات التي ستصل اليها في هذه المواضع لابد لها ان تكون قد اصطدمت بحواف الثقب وانحرف مسارها نحو العلة . وعندما تصبح العلة بعيدة عن كل من الثقبين ، في منتصف المسافة بينهما ، يكون عدد الرصاصات التي تصل اليها اصغر مما يمكن . وهكذا نحصل على المنحني ت<sub>٢١</sub> الذي يمثل عدد الرصاصات التي تمر من الثقب ١ ومن الثقب ٢ .

ولابد من لفت نظركم الى ان الكمية المحمولة على المنحني في الشكل لا تتجلى بشكل وحدات بل يمكن ان يكون لها اية قيمة . فقد نحصل على وسطي يساوي رصاصتين ونصف في الساعة رغم ان الرصاصات تصل واحدة فواحدة . وهذا يعني عندئذ ان خمسا وعشرين رصاصة قد وصلت خلال عشر ساعات . وانتم تعرفون بالتأكيد المزاج القائل بأن السوري الوسطي عنده ثلاثة اولاد ونصف . ان هذا لا يعني ان كل عائلة عندها ثلاثة اولاد ونصف — فالاولاد يعدون بالوحدات . ومع ذلك فعدد الاولاد الوسطي يمكن ان يأخذ اية قيمة . وكذلك ت<sub>٢١</sub> عدد الرصاصات التي تصل الى العلة خلال ساعة واحدة ليس بالضرورة ، وسطيا ، عددا

صحيحاً . ونقيس احتمال الوصول ، وهذا تعبير تكتيكي عن العدد الوسطي الذي يصل خلال زمن معين .

واخيراً يمكن بكل بساطة تحليل المنحني ت<sub>١</sub> كمجموع منحنيين : أحدهما يمثل ما أسميه ت<sub>١</sub> عدد الرصاصات التي تصل الى العلبة عندما أغلق الثقب ٢ بقرص من الصفيح ، والثاني ت<sub>٢</sub> يمثل عدد الرصاصات التي تمر من الثقب ٢ عندما أغلق الثقب ١ . وبذلك نكتشف قانوناً مهماً جداً يقول بأن العدد الذي يصل لدى انفتاح الثقبتين يساوي مجموع العدد الذي يمر من الثقب ١ مع العدد الذي يمر من الثقب ٢ . وهذه الفكرة ، أي الاكتفاء بجمع العددين ، أسميها « لا تداخل » .

$$ت_{١} = ت_{١} + ت_{٢} \quad ( \text{لا تداخل} )$$



ذلك هو شأن الرصاصات . وبعد الانتهاء منها نبداً ، هذه المرة ، مع الامواج على سطح الماء ( شكل ٢٩ ) .

والمنبع الآن كتلة كبيرة نخفق بها الماء ، صعوداً وهبوطاً ، عند سطحه . وفي مكان لوح الصفيح الاول نضع سداً يوجد في منتصفه فرجة

تنفذ منها الامواج . وربما كان من الافضل اجراء التجربة على تجمعات صغيرة بدلا من الامواج العالية على سطح البحر ، وهذا يبدو اكثر حكمة : استعمل عندئذ اصبعي في خفق الماء صعودا وهبوطا لتوليد المويجات واستخدم لوحا شاقوليا من الخشب مغروزا في الماء وفيه ثقب على مستوى سطح الماء يسمح للمويجات بالمرور عبره . واضع وراءه لوحا آخر فيه ثقبان واخيرا ، بعيدا عن هذا اللوح ، اضع المشعر . وماذا استخدم كمشعر ؟ ان المشعر يجب ان يقيس شدة خفقان الماء . يمكن مثلا ان اضع قطعة صغيرة من الفلين واقبس طاقة حركتها ؛ وهذه الطاقة متناسبة تماما مع الطاقة التي تنقلها المويجات . وملاحظة اخرى : اخفق الماء باصبعي بتواتر منتظم تماما لكي احصل دوما على المسافة نفسها بين مويجتين . وميزة هامة اخرى للامواج على الماء هي ان القياس يمكن ان يعطي اية قيمة . ونقيس شدة التموج ، او طاقة الفلينة . فاذا كانت الامواج ضعيفة ، اي اذا حركت اصبعي ببطء ، فان الفلينة لا تتحرك بعنف . ومهما كانت حركتها فانها تكون دوما متناسبة مع سعة الموجة . وهذه السعة يمكن ان تأخذ اية قيمة ، فلا تتجلى بشكل وحدات ولا تطيع القاعدة : كل شيء او لا شيء .

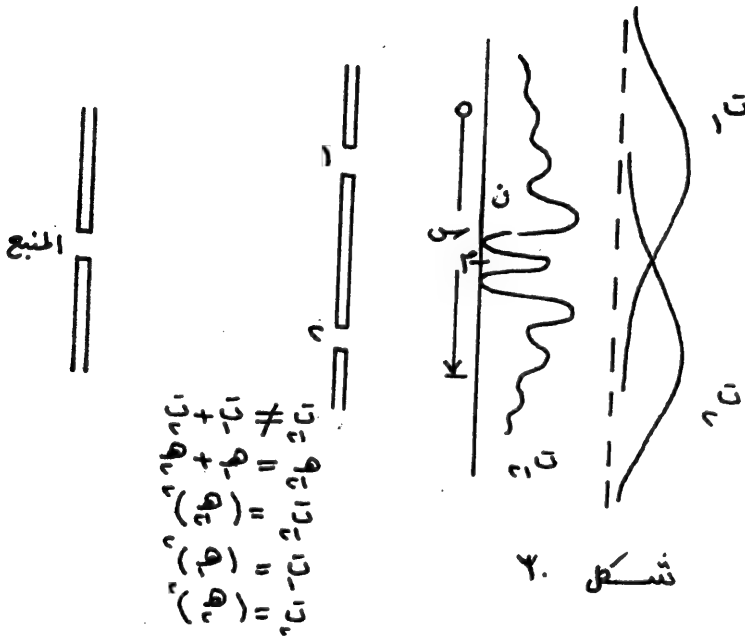
والواقع اننا نقيس شدة الامواج او ، بتعبير ادق ، الطاقة التي تولدها الموجة في كل نقطة . فماذا يعطي قياس هذه الشدة ، التي اسميها ش لتذكركم بانها شدة وليست عدد جسيمات ؟ لقد رسمت على الشكل ٢٩ المنحني ش<sub>١</sub> الذي نحصل عليه عندما يكون الثقبان مفتوحين . انه منحني ذو شكل معقد ومهم . فعند تغيير موضع المشعر احصل على شدة تتغير سريعا جدا وبأسلوب خاص . ولا شك ان السبب مألوف لديكم . ذلك ان الامواج تنتشر وهي تتوسع ، وهذه تتلوها صعدة ، بعد مرورها من الثقب ١ ومن الثقب ٢ . ففي النقطة المتساوية البعد عن الثقبين ، حيث تصل الموجتان في لحظة واحدة ، تنضم صعدتاها معا ونحصل على خفقان شديد في وسط المستوى الذي اضع فيه المشعر . ولو حرفت الآن المشعر جانبيا قليلا بحيث يصبح اقرب الى الثقب ١ ، منه الى الثقب ٢ فان الامواج تستغرق ، للوصول من الثقب ٢ ، وقتا اطول من الوقت

الذي تستغرقه للوصول من الثقب ١ ؛ فعندما تصل الصعدة من الثقب ١ فان الصعدة لا تكون قد وصلت بعد من الثقب ٢ ، بل تكون قد وصلت الوهدة التي امامها . وبذلك فان الماء في النقطة المعبرة ، وقد وصل اليه معا صعدة من ١ ووهدة من ٢ ، عليه ان يصعد ويهبط في اللحظة نفسها . وبنتيجة ذلك لن يتحرك عمليا ؛ ونحصل على شدة خفقان صفري في ذلك المكان . واذا ثابت في نقل المشعر سيحدث فرق زمني كاف كي تصل صعدتان معا ، كل واحدة من ثقب ، بالرغم من ان احدهما تكون متأخرة عن الاخرى بموجة كاملة ( اي بصعدة ووهدة ) . وعندها نحصل ، من جديد ، على شدة عظمى . وعلى هذا المنوال نحصل على سلسلة من الشدات : صفري ، عظمى ، صفري ... الخ بحسب «التداخل» الذي يحدث بين الصعدات والوحدات . وهنا ايضا يستعمل العلم كلمة بمعنى غريب . فقد يحدث ما نسميه تداخلا بناء وذلك عندما تتداخل الموجتان لتزيدا في الشدة . والشئ المهم هو ان ش<sub>٢١</sub> لا تساوي مجموع ش<sub>١</sub> و ش<sub>٢</sub> ، ونقول انهما تعطيان تداخلا بناء او هداما . ويمكن ان نجد شكلي ش<sub>١</sub> و ش<sub>٢</sub> باغلاق الثقب ٢ لوحده فنحصل على ش<sub>١</sub> ثم باغلاق الثقب ١ فنحصل على ش<sub>٢</sub> . فالشدة التي نحصل عليها ، عندما يكون احد الثقبين مغلقا ، ناتجة عن الامواج الآتية من الثقب الآخر دون تداخل . والشكل ٢٩ يوضح المنحنيين المذكورين ؛ وتلاحظون عليه ان ش<sub>١</sub> يشبه ت<sub>١</sub> وان ش<sub>٢</sub> يشبه ت<sub>٢</sub> لكن ش<sub>٢١</sub> يختلف كليا عن ت<sub>٢١</sub> .

والواقع ان رياضيات المنحنى ش<sub>٢١</sub> مثيرة جدا . والشئ الصحيح هو ان ارتفاع الموجات ، ولترمز له بـ  $f$  ، عندما يكون الثقبان مفتوحين يساوي مجموع الارتفاع الذي نحصل عليه لو كان الثقب ١ مفتوحا لوحده مع الارتفاع الآتي لو كان الثقب ٢ مفتوحا لوحده . وهكذا اذا وصلت وهدة من ٢ فان ارتفاعها سالب ويعدل الارتفاع الموجب الواصل مع الصعدة من ١ . وكان بالامكان الاهتمام بارتفاع الامواج بدلا من شدة خفقانها . لكن الشدة في جميع الاحوال ، في حالة اتفتح الثقبين مثلا ، ليست متناسبة مع الارتفاع بل مع مربع الارتفاع . ولهذا السبب بالذات ، تناسب الشدة مع مربع الارتفاع ، نحصل على هذه المنحنيات المثيرة ، اي :

$$\begin{aligned}
 f_1 + f_2 &= f_{12} \\
 \text{لكن } \psi_{12} &\neq \psi_1 + \psi_2 \text{ (تداخل)} \\
 \psi(f_{12}) &= \psi_{12} \\
 \psi(f_1) &= \psi_1 \\
 \psi(f_2) &= \psi_2
 \end{aligned}$$

ذلك هو شأن أمواج الماء . ونبدأ من جديد مع الالكترونات هذه المرة ( شكل ٣٠ )



شكل ٢٠

المنبع سلك خيطي ساخن جدا تنبعث منه الالكترونات . الألواح ذات الثقوب من التنغستين . والمشمع ، أي تركيب كهربائي يفني بالفرض اذا كان حساسا لدرجة تشعر بشحنة الكترون واحد مهما كانت طاقته . واذا كنتم تفضلون ، يمكن استعمال فوتونات وحواجز من ورق اسود . - الواقع ان الورق الاسود غير ملائم لان الياقة لاتجعل الثقوب منتظمة .

ومن الاحسن استخدام مضاعف فوتوني كمشعر وهو يكشف وصول الفوتونات افراديا . ماذا يحدث في هذه الحالة او تلك ؟ لن اناقش سوى حالة الالكترونات لان حالة الفونونات تماثلها تماما .

ان ما يسجله المشعر المجهز بمضخم قوي هي تكات « تك ، تك » اي وحدات صحيحة . فسماع التكة معناه شدة معينة ثابتة لكل تكة . وعندما يكون المنبع ضعيفا فان الفواصل الزمنية بين التكات تكون طويلة لكن التكة تحتفظ بشدتها . وعندما يقوى المنبع فان تواتر التكات يصبح كبيرا ، وينتهي الامر بازدحام المضخم . وعلى هذا الاساس يجب احكام المنبع بحيث لايعطي تكات يعجز التركيب المشعر عن تعدادها . وبعد اتخاذ هذه الاحتياطات ، اذا وضعتم مشعرا ثانيا في مكان اخر فلن تسمعوا تكتين معا اذا كان المنبع ضعيفا لدرجة كافية وكان الجهاز الذي يقيس الفترة الزمنية بينهما دقيقا . وباختصار ، اذا كان تواتر اصدار المنبع للالكترونات صغيرا ( شدة المنبع صغيرة ) فلن يحدث ابدا تكتان معا ، كل تكة في مشعر . وهذا يعني ان الامور تتجلى بشكل وحدات من حجم واحد معين ، لا يمكن ان تحدث الا في مكان واحد لحظة حدوثها . وهكذا تتجلى الالكترونات ، او الفوتونات ، فردا فردا . اي اننا سنكون ازاء سلوك كسلوك الرصاصات .

نقوم اذن بتنقيط المشعر من نقطة لآخرى في مستوى اللوح الثالث الاخير - ويكون من الاحسن ان نوزع عددا كبيرا من المشعرات في مختلف نقاط هذا اللوح معا ونرسم عندئذ المنحنى دفعة واحدة ، لكن ذلك يكلف غالبا - ونتركه في كل نقطة مدة ساعة واحدة مثلا . وفي نهاية التجربة ، يتم احصاء عدد الالكترونات ( عدد التكات ) الواصلة الى كل نقطة خلال ساعة . وقد نعيد هذه التجربة مرات عديدة فنحصل من اجل كل نقطة على عدد وسطي . ماذا نجد بشأن هذه الاعداد الوسطية للالكترونات؟ هل نجد شيئا يشبه ما وجدناه من اجل ت ٣١ في تجربة الرصاصات ؟ ان

الشكل ٣٠ يبين ما نحصل عليه عندما يكون الثقبان مفتوحين ، ونرى عليه ان الطبيعة تعطي منحنيًا يشبه الذي حصلنا عليه في حالة امواج متداخلة . فلماذا تعطي الطبيعة هذا المنحني ؟ ان هذا المنحني لا يمثل ، وضوحا ، توزيع طاقة الامواج بل احتمال وصول الالكترونات .

والرياضيات هنا بسيطة . بدلوا  $\psi$  ب  $\psi^2$  ؛ وهذا يستدعي ان تبدلوا  $\psi$  بشيء جديد مختلف - شيء ليس ارتفاعا - ؛ لنختار مقدارا  $\psi^2$  ، يمكن ان نسميه سعة الاحتمال لاننا لانعلم ماذا يمثل . وعندها نسمي  $\psi^2$  سعة احتمال الوصول من الثقب ١ ونسمي  $\psi^2$  سعة احتمال الوصول من الثقب ٢ . والسعة الكلية لاحتمال الوصول نحصل عليها من جمع هاتين السعتين . انها محاكاة مباشرة لما يحدث مع الامواج لاننا نحصل هنا على المنحني نفسه الذي حصلنا عليه هناك ، ولذا نستعمل الرياضيات نفسها .

ويجب هنا ان اتأكد من شيء حصل في حالة التداخل . فانا لم اتحدث عما يحدث لو اغلقت أحد الثقبين . لنحاول تحليل هذا المنحني ،  $\psi^2$  ، مفترضين ان الالكترونات تأتي من أحد الثقبين فقط . لنغلق الثقب ٢ ولنحصي الالكترونات التي تأتي من الثقب ١ : تدل التجربة اننا نحصل على المنحني البسيط  $\psi^2$  . ولو اغلقنا الثقب ١ وفتحنا الثقب ٢ لحصلنا على المنحني المماثل  $\psi^2$  . لكن حالة انفتاح الثقبين معا لا يقابلها  $\psi^2 + \psi^2$  ، بل تقود الى تداخل . والواقع ان رياضيات هذه الحالة تتصف بهذه الصيغة التي تظهر احتمال الوصول على شكل مربع سعة هي بدورها مجموع سعتين ، أي  $\psi^2 = (\psi_1 + \psi_2)^2$  .

لكن سؤالًا يبرز هنا : بما ان الالكترونات تتوزع بشكل معين عندما تمر من الثقب ١ ، وبشكل مماثل عندما تمر من الثقب ٢ ، فلماذا لانحصل على مجموع هذين التوزيعين عندما نفتح الثقبين معا ؟ لماذا ، مثلا ، لا يسجل المشعر عمليا أي شيء عندما نضعه في النقطة  $N$  والثقبان مفتوحان كلاهما ؟ بينما نراه يسجل عددا كبيرا من الالكترونات عندما اغلق الثقب ٢ وعددا

لابأس به عندما اغلق الثقب ١ . اليس عجيبا ان ينقطع الوصول الى ن عندما افتح الثقبين معا ؟ خذوا ايضا قضية الوصول الى النقطة المركزية م وستجدون عجيبة اخرى ! ستجدون ان عدد الالكترونات التي تصل اليها ، والثقبان مفتوحان معا ، يفوق مجموع عددي الالكترونات التي تصل من الثقبين كلا على حدة . قد تظنون بانفسكم القدرة ، بما يكفي من الخيال ، على اختراع تفسير لهذه العجائب : كان تقولون بان الالكترونات تذهب وتمضي على هواها عبر الثقوب ، او انها تنكسر الى قطعتين تمران معا من خلال الثقبين ، او شيئا اخر من هذا القبيل . لكن لم ينجح احد في اعطاء تفسير مرض لهذه العجائب ، رياضياتها بسيطة والمنحني كذلك بسيط ( شكل ٣٠ ) .

وباختصار اقول : ان الالكترونات تصل فردا فردا كجسيمات ، لكن احتمال وصولها يتعين كما تتعين سعة موجة . وبهذا المعنى يتصرف الالكترون كجسم تارة كموجة تارة اخرى ، اي بأسلوبين مختلفين في وقت معا ( شكل ٣١ ) .

رصاصات الرشاش	أمواج على الماء	الالكترونات ، فوتونات
تصل فردا فردا	تصل بأية مقادير	تصل فردا فردا
قياس احتمال الوصول	قياس شدة الامواج	قياس احتمال الوصول
$t_1 = t_2$	$ش_1 \neq ش_2$	$t_1 \neq t_2$
لا يحدث تداخل	يحدث تداخل	يحدث تداخل

شكل ٣١

ذلك كل ما يقال . ويمكن ان اعطي صيغة رياضية تسمح بايجاد احتمال وصول الالكترونات في كل الظروف - فيما عدا ان سلوك الطبيعة هذا يخفي وراءه العديد من الالغاز . فهناك جوانب طريفة واريد ان اناقشها لانها ، وقد وصلنا الى هذه النقطة من الحديث ، ربما لا تبدو واضحة .



ونبدأ بمناقشة هذه الالغاز على أساس فكرة قد تبدو لنا معقولة لان هذه الجسيمات تصل فردا فردا . فيما أننا ازاء جسم منفرد صحيح ، الالكترون هنا ، نستقبله فمن المعقول طبعا أن نفترض أن كل الكترون يمر من خلال الثقب ١ أو من خلال الثقب ٢ . وهذه الفرضية تبدو منطقية لان الالكترون ، كوحدة قائمة بذاتها ، لا يمكن أن يفعل غير ذلك . وبما أنني سأناقش هذه الفكرة فلا بد من اعطائها اسما . وسوف اسميها « الاقتراح ب » :

#### كل الكترون يمر اما من الثقب ١ أو من الثقب ٢

لكننا قد بدأنا فعلا بمناقشة مضمونات هذا الاقتراح . فلو صح أن الالكترون اما أن يمر من الثقب ١ أو من الثقب ٢ فيمكن تحليل العدد الكلي للالكترونات كمجموع اسهامين . سيكون هذا العدد الكلي مجموع الالكترونات المارة من الثقب ١ مع الالكترونات المارة من الثقب ٢ . لكن ؛ بما أن المنحني الحصول عليه تجريبيا ، في حالة انفتاح الثقبين معا ، لا يمكن تحليله بهذه البساطة كمجموع المنحنيين الناتجين عن الثقبين كلا على حدة فعلينا أن نستنتج إذن أن الاقتراح ب خاطئ . فاذا لم يكن صحيحا أن الالكترون اما أن يمر من الثقب ١ أو من الثقب ٢ فقد يكون أنه ينقسم مؤقتا الى جزئين ، أو شيء آخر . لكن القول بخطأ الاقتراح ب هو من المنطق المحض . وسواء كان ذلك مؤسفا أم لم يكن ، فإن التجربة تسمح لنا بوضع المنطق على المحك . فعلينا أن نكتشف اذا كان حقا ، أو لا ، أن الالكترونات اما أن تمر من الثقب ١ أو من الثقب ٢ ، أو انها تتحول من ثقب الى آخر ، أو انها تتجزأ مؤقتا ، أو شيء آخر .

يكفي أن ننظر إليها ! ولكي نراها لا بد من اسقاط نور عليها . ولهذا الفرض نضع بين الثقبين منبع نور قوي . يصطدم الضوء عندئذ بالالكترونات وينزو عنها ؛ فيمكن أن نرى الالكترونات اذا كان النور شديدا لدرجة كافية . نقف على بعد قليل ونرصد ، عندما يسجل العداد الكترونا ( أو مباشرة قبل أن يسجله ) اذا كنا نرى التماعا ضوئيا

وراء الثقب ١ أم وراء الثقب ٢ . أو ربما نصف التماع وراء كل من الثقبين معا . وبهذا الفحص سنتمكن أخيرا من معرفة سير الأمور . لنشعل الضوء وننظر : جميل جدا ! كلما سجل المشعر وصول الكترون نرى التماعا واحدا وراء أحد الثقبين فقط . وهكذا نتأكد أن الالكترتون يمر بكامله مائة في المائة اما من الثقب ١ أو من الثقب ٢ . أمر عجيب !

لنزنق الطبيعة . لنضع في طريقها المصاعب . واليكم كيف نفعل ذلك . ندع النور مشتعلا ونرصد ونعد الالكترونات التي تمر من الثقبين . ولنرتب جدولا بعمودين أحدهما للثقب ١ والثاني للثقب ٢ ؛ فعندما يسجل المشعر وصول الكترون نسجل علامة في عمود الثقب الذي مر منه . كيف يكون عندئذ شأن العمود المتعلق بالثقب ١ اذا فحصت الحصلة من أجل عدة اوضاع للمشعر ؟ احصل على المنحني ت١ ( شكل ٣٠ ) . فحصلة هذا العمود تعطي ، اذن وتماعا ، التوزع الذي حصلت عليه لدى اغلاق الثقب ٢ . والنتيجة أنني احصل على التوزع نفسه تماما سواء رصدت أم لم أرصد . فلدى اغلاق الثقب ٢ احصل على توزع وصول يماثل التوزع الذي احصل عليه عندما أرصد الثقب ١ . كما أن عدد الالكترونات التي رايناها تمر من الثقب ٢ يعطي المنحني البسيط نفسه ت٢ . والآن يجب أن يكون العدد الكلي للالكترونات مجموع الاثنين ، يجب أن يكون مجموع العددين ت١ مع ت٢ ، لان كل الكترون قد احصي اما في العمود ١ او في العمود ٢ . ان عدد الوصلات يجب لزما أن يكون مجموع هذين العددين ، ويجب أن يكون موزعا مثل ت١ + ت٢ لكنني قلت انه موزع بموجب المنحني ت١ ؟ كلا ، انه موزع بموجب ت١ + ت٢ . انه كذلك حقا وبالتأكيد : يجب أن يكون كذلك وانه كذلك . فلو اشرنا « بفتحة » الى النتائج الحاصلة مع النور لوجدنا أن ت١ يساوي عمليا ت٢ وأن ت٢ يساوي عمليا ت١ . لكن العدد ت٢ ، الذي وجدناه مع النور والثقبان مفتوحان يكون مساويا مجموع العددين الملاحظ لدى المرور من الثقب ١ مع العدد الملاحظ لدى المرور من الثقب ٢ . ذلك ما نحصل عليه عندما يكون النور مشتعلا . وهكذا نحصل على جوابين مختلفين حسبما يكون النور مشتعلا أو لا يكون . فاذا اشعلت

النور احصل على التوزيع  $T_1 + T_2$  واذا اطفأته احصل على التوزيع  $T_1$  . واشعله ثانيا فاحصل على  $T_1 + T_2$  من جديد . وهكذا ترون ان الطبيعة لم تقع في الفخ الذي نصبناه لها ! يمكن أن نقول ان النور قد غير النتيجة . فهو ، باشتعاله وانطفائه يعطي نتيجتين مختلفتين . ويمكن ان اقول ايضا ان النور يؤثر في سلوك الالكترونات . فاذا اعتبرت حركة الالكترونات اثناء التجربة ( رغم أن هذا التعبير غير مناسب تماما ) امكن ان نقول ان النور يؤثر في هذه الحركة ويجعل ذلك العدد من الالكترونات، التي كانت يمكن أن تصل الى نقطة الشدة العظمى ، تنحرف تحت ضربات الضوء وتصل عمليا الى نقطة الشدة الصغرى ، فتعدل المنحني  $T_1$  لتعطي المنحني  $T_1 + T_2$  .

ان الالكترونات كائنات ناعمة سهلة الانفعال . فلو رصدتم كرة قدم بعد انارتها فان سلوكها لن يتغير وستتابع مسيرها كأن شيئا لم يحدث . لكنكم اذا انرتم الكترونا فانه يتصرف كأن شيئا قد صدمه ويغير سلوكه اذا كان النور شديدا جدا . افترضوا اننا نحاول ان نحجب النور أكثر فأكثر حتى يصبح ضعيفا جدا ، ثم نستعمل مشعرات حساسة جدا تسمح بالرصد في هذا النور الضعيف جدا . اذا ضعف النور تدريجيا فلا تتوقعوا أن هذا النور الضعيف ، مهما اشدت ضعفه ، سيؤثر في الالكترون فيغير توزيعه مائة في المائة من  $T_1$  الى  $T_1 + T_2$  . لكن عندما يصبح النور ، بشكل او بآخر ، اضعف فأضعف فان النتيجة يجب ان تقترب أكثر فأكثر من تلك التي نحصل عليها في الظلام . ولكن كيف ستتحول المنحنيات من شكل لآخر ؟ الواقع ان النور ليس ، بالتأكيد ، شيئا يطابق الموجة على الماء . فهو يتجلى أيضا بشكل وحدات ذات خواص جسيمية تسمى فوتونات . وعندما يضعف النور لا يضعف تأثيره بل ينقص عدد الفوتونات الآتية من المصباح ؛ فكلما ضعف النور تناقص عدد الفوتونات . فاذا كان يوجد عدد قليل من الفوتونات فقد يحدث ان الالكترون يمر من الثقب دون ان يلتقي فوتونا فلا اراه . فالنور الضعيف ليس معناه حدوث اضطراب اضعف للالكترون بل وجود عدد ضئيل من الفوتونات . فاستخدام نور ضعيف يستدعي تنظيم عمود

ثالث في الجدول تحت عنوان « لا أراه » . فعندما يكون النور شديدا لا يحوى هذا العمود سوى عدد صغير من الالكترونات . لكن في النور الضعيف جدا تتسجل غالبية الالكترونات فيه . وهكذا ستحزرون ما ساجد في حصيلة هذه الاعمدة الثلاثة : رقم ١ ، رقم ٢ ، « لا أراه » . ساجد ان الالكترونات ، التي اراها ، تتوزع بموجب  $T_1 + T_2$  ، اما التي لا اراها فتتوزع بموجب  $T_1$  . وكلما أضعفت الضوء أرى أعدادا أقل فأقل ويزدحم عمود « لا أراه » . وفي جميع الاحوال يكون المنحني الحقيقي مزيجا من  $T_1 + T_2$  و  $T_1$  ، حتى يصبح نهائيا وبالتدريج ، عندما يحل الظلام ، مماثلا لـ  $T_1$  .

هذا ويستحيل علي ان اناقش هنا كل ما يمكن ان تقترحوه لرصد الثقب الذي يمر منه الالكترون . لكن من المؤكد انه يستحيل ان نرتب النور بحيث نستطيع تعيين الثقب الذي يمر منه الالكترون دون ان يشوش ذلك توزع وصول الالكترونات ، دون ان يخرب التداخل . والواقع ، سواء استعملتم النور أو أي شيء آخر فمن المستحيل مبدئيا أن تتوصلوا الى ذلك . ويمكنكم ، اذا اردتم ، ان تبتكروا وسائل عديدة لمعرفة الثقب الذي يمر منه الالكترون ، وسيمر حتما من هذا الثقب أو ذاك . ولكن لو حاولتم تركيب جهاز لا يشوش في الوقت ذاته حركة الالكترون فستجدون انكم لن تستطيعوا ان تقولوا من أي ثقب قد مر ، وستصلون الى النتيجة المعقدة ذاتها .

لقد لاحظ هازنبرغ ، عندما اكتشف ميكانيك الكم ، ان قوانين الطبيعة الجديدة هذه لن تكون متناسقة الا اذا كانت امكانياتنا التجريبية ذات حدود أساسية ( لا سبيل الى تجاوزها ) لم تكن معترفا بها حتى ذلك الوقت . وبتعبير آخر ، ليس بالامكان اجراء تجربة بالدقة الكبيرة التي نريد . وقد أصدر هازنبرغ مبداء المعروف بمبدأ الارتياب والذي، في تجربتنا الخاصة ، يمكن ان يلفظ كما يلي ( لقد اعطى نصا آخر ولكنه يكافئ تماما النص التالي ، واحدهما مرتبط بالآخر ) : « ان من المستحيل تصور جهاز ، مهما كان ، يسمح بتعيين الثقب الذي يمر منه

الالكترونون دون ان نشوش ، في الوقت ذاته . ذلك الالكترون لدرجة تكفي لتخريب صورة التداخل » . ولم يستطع انسان بعد أن يتحاشى ذلك . انني متأكد انكم تلهفون على ابتكار طرائق تشعرون بواسطتها من اي الثقبين قد مر الالكترون ؛ ولكن لو حللنا بعناية كلا من هذه الطرائق فسنتكشف دوما وجود مشكلة . ولو ظننتم انكم تستطيعون ذلك دون تشويش الالكترون فسيبرز لكم دوما شيء ما ، وسوف يتفسر دوما الفرق بين المنحنيين  $\gamma$  و  $\beta$  +  $\gamma$  بالتشويش الناجم عن الاجهزة المستعملة لتعيين الثقب الذي عبر منه الالكترون .

ان هذا المبدأ خاصة اساسية من خواص الطبيعة وذو شمول عالمي . وحتى لو اكتشفنا غدا جسيما جديدا ، الكاؤون ( الواقع ان هذا الجسيم قد اكتشف ، وما دمنا نبحث عن اسم فليكن هذا ) واستعملنا التفاعل بين الكاؤونات والالكترونات لنعرف الثقب الذي مر منه الالكترون ، فانا اعلم سلفا - او على الاقل آمل ذلك - ما يكفي عن سلوك هذا الجسيم كي اؤكد هذا : ان خواصه لا يمكن ان تكون بحيث تتيح تعيين الثقب الذي عبر منه الالكترون دون ان تشوش ، في الوقت نفسه ، هذا الالكترون لدرجة تكفي لتحويل صورة التداخل الى صورة دون تداخل . وهكذا يمكن استخدام مبدأ الارتياح كمبدأ عام يسمح بتصور مسبق للعديد من خواص الجسيمات المجهولة . فهذا المبدأ يحد من معقولية خاصياتها .

لنعد الى اقتراحنا ب : « ان الالكترونات تمر اما من هذا الثقب واما من ذاك » . هل هو صحيح ام لا ؟ ان للفيزيائيين وسيلة لتحاشي الفخاخ التي يصادفونها . فهم يتبنون قواعد التفكير التالية . اذا كان لديكم جهاز قادر على تعيين الثقب الذي يمر منه الالكترون ( ويمكن الحصول على جهاز كهذا ) امكنكم ان تقولوا انه قد مر من هذا الثقب او ذاك . وهذا ما يفعله : يعبر بالفعل احد الثقبين - حين ترصدونه . لكن اذا لم يكن لديكم جهاز قادر على ذلك فلن تستطيعوا ان تقولوا اي الثقبين عبر منه الالكترون . وبتعبير اصح ، تستطيعون ان تقولوا ذلك

شريطة أن تتوقفوا عن التفكير وعن استخلاص النتائج . لكن الفيزيائيين يفضلون أن لا يقولوه على التوقف عن التفكير ولو للحظة واحدة . واستنتاج أن الإلكترون قد مر بهذا الثقب أو ذاك ، عندما لا نترصده ، يقود الى تنبؤات خاطئة . ذلك هو السلوك المنطقي الحرج الذي يجب أن نسلكه لتفسير الطبيعة .

والافتراح الذي اناقشه هنا هو فكرة عامة لا تقتصر على حالة الثقبين . ويمكن أن ننص عليها كما يلي : ان احتمال وقوع حادث ، في تجربة مثالية - أي تجربة نحدد ظروفها بأحسن ما يمكن - هو مربع مقدار ، أسميته ه ، أي سعة الاحتمال . فإذا كان يمكن لهذا الحادث أن يقع بعدة اساليب متنافية<sup>(١)</sup> فإن سعة احتمال وقوعه الكلية ه هي مجموع سعات احتمال وقوعه بكل من الاساليب الاخرى ( ه = ه١ + ه٢ + ه٣ + ... ) . لكن لو أجرينا تجربة تسمح بتعيين أي أسلوب هو الذي حصل فإن احتمال وقوع الحادث يتغير ؛ انه عندئذ مجموع احتمالات كل من الاساليب ( ف = ف١ + ف٢ + ف٣ + ... ) . أي اننا عندئذ نخسر التداخل .

يمكن الآن أن نتساءل كيف تسير الامور حقا بحد ذاتها . ما هي الآلية التي تتم بشكلها الطبيعي ؟ الواقع انه لا يعرف احد اية آلية . لا يمكن لاحد أن يعطيك ، لهذه الظاهرة ، تفسيراً أعمق من تفسيري - وهو ليس سوى وصف . يمكن اعطاؤكم شرحاً أعم ، يغطي حوادث أكثر عدداً ، ليثبت لكم استحالة تعيين الثقب الذي مر منه الإلكترون دون أن يحدث ، في الوقت نفسه ، تخريب لصورة التداخل . يمكن أن يوصف لكم صنف من التجارب أوسع بكثير من تجربة الثقبين لوحدها . سيكون

---

(٢) أي ان كل أسلوب يمكنه لوحده أن يؤدي الى وقوع الحادث المطلوب ، وان حصول أسلوب بلفاته ينفي حصول أي من الاساليب الاخرى . فوصول الإلكترون الى المشعر ( الحادث ) يمكن أن يحصل عبر الثقب ١ ( أسلوب اول ) أو عبر الثقب ٢ ( أسلوب ثان ) . وعبر الكترون معين من أحد الثقبين ينفي عبوره من الثقب الآخر . ( المترجم )

ذلك اوسع شمولاً ولكن ليس أكثر عمقاً . ويمكن جعل الرياضيات أكثر صلاحاً بفهمكم أن الأعداد المستعملة ليست أعداداً حقيقية بل عقدية ، أو أية تدقيقات أخرى ليس لها أية صلة بالفكرة الأساسية . لكن اللغز كامن في الشيء الذي وصفت ولم يتمكن إنسان ، حتى اليوم ، من الذهاب إلى أبعد من ذلك .

هذا وإننا حسبنا حتى الآن احتمال وصول الإلكترون . لكن يمكن أن نتساءل عن وجود وسيلة لمعرفة متى يصل الإلكترون الفرد حقاً . فنحن لسنا بالتأكيد ضد استعمال نظرية الاحتمالات ، أي حساب الفرص والحظوظ في ظروف معقدة . عندما نقذف نرداً في الهواء فإننا ، بسبب شتى المقاومات والذرات والأشياء المعقدة الأخرى ، مهياؤون لأن نقبل أننا لا نملك معرفة ما يكفي من التفاصيل كي نصدر نبوءة دقيقة . فنحسب إذن فرص حصول هذه النتيجة أو تلك . لكن الذي نقوله هنا — ليس كذلك ؟ — هو أن الاحتمالات موجودة منذ البدء : أن الصدفة موجودة في القوانين الأساسية للفيزياء .

افترضوا أنني ركبت تجربتي بحيث أحصل على صورة تداخل عندما يكون النور مطلقاً . وهنا أزعج أنني ، حتى في وجود النور ، لن أتمكن من التنبؤ عن رقم الثقب الذي سيمر منه الإلكترون ؛ أي لا سبيل للتنبؤ بذلك مسبقاً . وبتعبير آخر ، لا يمكن التنبؤ عن المستقبل ؛ فلا يمكن بصورة من الصور ، مهما كانت المعلومات التي بحوزتي ، أن أتنبأ من أي ثقب سيمر الإلكترون أو وراء أي ثقب ساراه . وهذا يعود إلى القول ، بمعنى معين ، أن الفيزياء قد هجرت هدفها الأولي ( لو كان ذلك هو حقاً هدفها الأولي ) الذي يعتقده الناس ، وهو استحصال المعلومات الكافية لامكانية التنبؤ عما يحدث في ظروف معينة . أن الظروف موجودة : منبع الكترونات ، منبع نور قوي ، لوح من التنفستين ذو ثقبين ؛ فقولوا لي وراء أي ثقب سوف أرى الإلكترون ؟ يوجد نظرية تقول بأن استحالة معرفة الثقب الذي سيمر منه الإلكترون ناجمة عن آليات معقدة على مستوى المنبع . فكأنه يوجد دواليب ومسننات

و . . . الخ ، وهي التي تعين ثقب العبور ، والاحتمال هو عندئذ نصف - نصف لان الصدفة تتدخل كما في النرد : أي أن الفيزياء ، في رأيهم ، ناقصة . ولو كان لدينا فيزياء تامة بما فيه الكفاية لتمكن التنبؤ عن ثقب العبور . ان هذا الرأي يسمى نظرية « المتحولات الحفية » . ان هذه النظرية لا يمكن أن تكون صحيحة ، وليس نقص المعلومات التفصيلية هو الذي يمنع امكانية التنبؤ .

قلت انني اذا اشعلت النور احصل على صورة تداخل . ففي كل الظروف التي يحدث فيها تداخل ، يستحيل تحليل هذا التداخل بعبارات العبور اما من الثقب ١ او من الثقب ٢ لان منحنى التداخل ببساطته يختلف رياضيا تماما عن مجموع منحنى الاحتمال . فلو كنا استطعنا أن نعين مسبقا الثقب الذي سيمر منه الالكترون عندما يكون النور مشتعلا لما كان لاشتعاله أو عدمه أي دخل هنا . لو كانت آلية منبع الالكترونات ، رغم تنوعها ، يمكن ان تنبئ لوحدها عن الثقب الذي سيمر منه الالكترون لامكننا التنبؤ بذلك دون نور ، وعندها سيكون المنحنى الكلي مساويا لمجموع المنحنيين المتعلقين بالثقبيين كلا على حدة ؛ لكن الواقع ليس كذلك . يجب اذن ان يكون من المستحيل المعرفة المسبقة للثقب الذي سيمر منه الالكترون سواء كان النور مشتعلا أم لا وذلك في الظروف التجريبية التي تعطي صورة تداخل لدى انطفاء النور . فليس اذن جهلنا بالالية وتعقيداتها هو الذي يسبب ظهور الاحتمالات في الطبيعة . يبدو أن ذلك جوهري ، وهذا ما عبر عنه أحدهم بقوله : « ان الطبيعة نفسها لا تدري من أي ثقب سيمر الالكترون » .

قال أحد الفلاسفة مرة : « لكي يوجد علم يجب دوما ان تؤدي نفس الاسباب الى نفس النتائج » . ليس هذا ما يحدث هنا . فانتم تركبون التجربة في الشروط ذاتها ولا تستطيعون التنبؤ في أي ثقب سترون الالكترون . لكن العلم يستمر مع ذلك وبالرغم من أن نفس الاسباب لا تؤدي الى نفس النتائج . وبالطبع يزعجنا كثيرا ان لانستطيع التنبؤ بما سيحدث بالضبط . يمكن ان نتصور ، جدلا ، حدوث ظروف خطيرة جدا تجد



البشرية نفسها بحاجة لان تعرف ، ولكنها لايمكن مع ذلك أن تتنبأ بشيء .  
ولنفترض مثلا اننا ركبنا جهازا - من الافضل أن لانفعل ، لكن ذلك ممكن  
- فيه خلية فوتوكهربائية تسجل مرور الالكترون ، وعندما يعبر الثقب ١  
تشعل قنبلة ذرية والحرب العالمية الثالثة ، لكن عندما يعبر الثقب ٢  
تبدأ محادثات سلام وبيتعد خطر الحرب . وهكذا يتوقف مستقبل  
البشرية على شيء لايتنبأ به أي علم . لايمكن التنبؤ بالمستقبل .

والشيء الضروري « لوجود العلم نفسه » - وماهي خواص الطبيعة ؟  
- لايمكن أن يتوقف على آراء مسبقة مبهرة بل يحدده دوما الغرض المادي  
لعملنا ، تحدده الطبيعة نفسها . فنحن نهتم بما يحدث امامنا ولا نستطيع  
منطقيا ان نعرف سلفا كيف سيحدث . وغالبا مايحصل أن الامكانيات  
الاكثر عقلانية ليست هي التي تحدث فعلا . والمتطلبات اللازمة لتقدم  
العلم هي القدرة على التجريب والنزاهة في نقل النتائج - يجب أن لانعطي  
كنتائج ، ما كنا نرغب في أن نجده بل ما وجدناه فعلا - وأخيرا ، وهذا  
اساسي ، الذكاء في تفسير النتائج . والخاصة المهمة في هذا الذكاء هي ان  
لايحاول الحكم مسبقا على مالم يقع . فقد يخطر لهذا الذكاء ان يفكر ان  
« هذا غير محتمل أبدا ، انه لا يروقني » . لان الراي المسبق ليس اليقين  
المطلق . ونحن لا نعارض الميول الفكرية طالما بقيت ميولا ، ولا خطر منها ؛  
لان الميول الخاطئة لاتلبث ، تحت وطأة تراكم النتائج التجريبية ، أن  
تزعج صاحبها حتى لا يبقى له مناص من أخذ هذه النتائج بعين الاعتبار ؛  
ولا يجوز أن نضرب صفحا عنها الا اذا كنا على يقين مطلق من قواعد لا بد  
للعلم من أن يحترمها سلفا . والحقيقة ان الشيء الضروري لوجود العلم  
هي عقول لا تقبل أن تفرض على الطبيعة شروطا مسبقة ، كشروط ذلك  
الفيلسوف .

## طرائق البحث عن قوانين جديدة

ان موضوع هذه المحاضرة لن يكون بالتحديد خواص القوانين الفيزيائية . وقد يظن ، على الاقل ، انني اتكلم عن الطبيعة عندما اتكلم عن خواص القوانين الفيزيائية ؛ لكنني لا اريد الكلام عن الطبيعة بل عن الوضع الذي نحتله حاليا بالنسبة لها : اي مانعتقد اننا نعرفه وما بقي علينا أن نحزره وكيف نتدبر امرنا لكي نحزره . لقد اقترح احدهم أن الشيء المثالي هو أن اشرح في كل مناسبة من محاضراتي كيف نحزر قانونا وأن احاول خلق قانون جديد امامكم . لكنني لست أدري اذا كنت قادرا على ذلك .

أريد ، بادئ ذي بدء ، أن اشرح لكم الوضع الحالي ، الاشياء التي نعرفها في الفيزياء . فقد تظنون انني ، وقد شرحت لكم في محاضراتي السابقة كل المبادئ الكبرى المعروفة ، قد قلت لكم كل شيء . لكن المبادئ يجب تطبيقها على شيء ما . فمبدأ انحفاظ الطاقة يشير الى طاقة شيء ما ، وقوانين الميكانيك تسيطر على شيء ما - وهذه المبادئ بمجموعها لاتنبئ دوما عن محتوى الطبيعة التي نتكلم عنها . وعلى هذا سأحدث لكم قليلا عما هو مفروض أن تتناوله هذه المبادئ .

قبل كل شيء يوجد المادة - والرائع هو انه لا يوجد سوى مادة واحدة . والمادة التي تتشكل منها النجوم ، نعرف انها نفس المادة الموجودة

على الارض . وخواص الضوء الصادر عن النجوم تشكل نوعا من البصمات التي تسمح لنا بالقول باننا نجد هناك نفس انواع الذرات الموجودة في المخلوقات الحية والمخلوقات العاطلة عن الحياة : فالضفادع مصنوعة من نفس المواد الاولية المصنوعة منها الصخور ، ولا تختلف الا بالترتيب . وهذا يسهل المسألة ، لاشيء سوى الذرات في كل مكان .

والذرات ، كما تبدو ، لها جميعا تركيب عام واحد : نواة ، وحول النواة الكترونات . ويمكن ان نعمل قائمة بالعناصر التي نعتقد بمعرفتنا لها في العالم ( شكل ٣٢ ) .

الالكترونات	الالكترونات
الفوتونات	الفوتونات
الغرافيتونات	الغرافيتونات
الترينونات	الترينونات
+ الجسيمات المضادة	

شكل ٣٢

يوجد اولا الالكترونات وهي جسيمات تقع في المنطقة الخارجية من الدرة ثم النوى : نعلم اليوم انها ، هي نفسها ، مؤلفة من جسيمين عنصريين آخرين . ولو نظرنا الى النجوم والى الذرات نراها تصدر ضوءا ، وهذا الضوء نفسه يتألف من حبيبات تسمى فوتونات . وفي البدء تحدثت عن التثاقل ؛ واذا كانت النظرية الكمومية صحيحة فان التثاقل يجب ان ينتج انواعا من الامواج تتصرف ايضا كالجسيمات هي الغرافيتونات (١) . واذا كنتم لا تصدقون فسموها الثقلة . وقد تحدثت لكم ايضا عما نسميه الاصدار بيتا حيث يصدر نترون يتفكك بدوره الى بروتون والكترون

(١) ان كلمة غرافيتون مشتقة لفظا من الكلمة الاجنبية التي ترجمناها الى كلمة تثاقل . ولو اردنا ان نشتق ، بطريقة مماثلة ، اسما عربيا لهذا الجسيم لاسميناه ثقلة .  
( المترجم )

ونترينو - او بالضبط نترينو مضاد ؛ وهكذا يكون لدينا جسيم آخر هو النترينو . وبالإضافة الى جميع الجسيمات الواردة في القائمة يوجد طبعاً الجسيمات المضادة ، وليست هي سوى وسيلة سريعة لمضاعفة عدد الجسيمات ولكنها لا تثير أية مشكلة .

وبواسطة الجسيمات الواردة في القائمة يمكن شرح جميع ظواهر الطاقة المنخفضة ، أي واقعياً كل الظواهر الشائعة التي تحدث في كل مكان في الطبيعة ، أو ما نعرفه عن هذه الظواهر . وهنا نستثني الحالة التي يظهر فيها جسيم ذو طاقة عالية . وقد أمكن في المخبر الحصول على أشياء غريبة . ولكن اذا تركنا هذه الحالة الخاصة جانباً أمكن شرح كل الظواهر الشائعة بفعل هذه الجسيمات وحركاتها - الحياة مثلاً يقال ، مبدئياً ، بإمكانية شرحها بحركة الذرات ، هذه الذرات المؤلفة من نترونات وبروتونات والكترونات . ويجب أن أضيف رأساً : عندما نقول أننا نفهم مبدئياً فهذا يعني بكل بساطة أننا لو استطعنا حساب كل شيء لاكتشفنا أنه لم يبق شيء جديد نكتشفه في الفيزياء كي نفهم ظواهر الحياة .

مثال آخر . ان اصدار الطاقة من النجوم ، الطاقة الشمسية او النجمية ، يمكن على الأرجح تفسيره أيضاً باعتبار التفاعلات النووية بين الجسيمات . فكل تفاصيل سلوك الذرات تتفسر بدقة بهذا النوع من النموذج ، في الوضع الحالي لمعلوماتنا على الأقل .

والحقيقة ، يمكن أن أقول أنه ، في حقل الظواهر الحالي ، لا يوجد على حد معرفتي ظاهرة لا يمكن يقيناً شرحها بهذه الصورة ، أو حتى ظاهرة ذات لغز عميق .

ولم يكن الأمر كذلك دوماً . فقد كان يوجد مثلاً ظاهرة تسمى الناقالية العليا ، وتتلخص في أن المعادن تنقل ، في درجات الحرارة المنخفضة ، الكهرباء دون مقاومة . ولم يكن واضحاً ، لأول وهلة ، أن هذه نتيجة للقوانين المعروفة . ولكن بعد تفكير جدي تبين أن هذه الظاهرة قابلة تماماً للتفسير بموجب معارفنا الحالية . ويوجد ظواهر أخرى ، كالادراك

اللاشعوري ، لا يمكن تفسيرها بمعلوماتنا العلمية . لكن هذه الظاهرة لم تتأكد بشكل قطعي ولا يمكن أن نضمن وجودها . ولو أمكن البرهان عليها لكان ذلك دليلا أكيدا على وجود ثغرات في الفيزياء ، وهذا ما يعبر عن الأهمية التي يعلقها الفيزيائيون على التأكد من وجود أو عدم وجود ظاهرة ما . وكثير من الناس يدعون ظواهر ليست صحيحة . وهذا أيضا شأن التأثيرات التنجيمية فلو صح ادعاء تأثير النجوم في حسن اختيار يوم الذهاب الى طبيب الاسنان - وهذا الضرب من التنجيم شائع في أمريكا - لكان ذلك برهانا على عدم صحة نظريات الفيزياء لان هذا العلم ليس فيه اي شيء ينسجم مبدئيا مع هذه الادعاءات . وهذا ما يفسر نظرة العلماء بعين الريبة الى هذه الافكار .

لكن التنويم له شأن آخر ، فقبل اجراء دراسة عميقة عليه كان يعتقد باستحالته . اما الآن فقد تبين ان ليس من المستحيل اطلاقا ان يتولد هذا النوع من النوم بتأثيرات فيزيولوجية طبيعية بالرغم من اننا نهمل الكثير عنها ؛ لكن تفسيره لا يستلزم بالضرورة صنفا جديدا من القوى .

هذا ، وبالرغم من ان نظرياتنا الحالية حول ما يحدث خارج نواة الذرة تبدو دقيقة نسبيا وواقية ، بمعنى اننا يمكننا مع الزمن حساب كل شيء باكبر دقة ممكنة ، فان القوى المتبادلة بين النترونات والبروتونات في النواة ما تزال مجهولة وبعيدة عن افهامنا ؛ بمعنى ان معلوماتنا عن هذه القوى ليست كافية ؛ فلو اعطينوني كل ما اريد من الوقت والحاسبات الالكترونية فلن اتمكن من حساب مستويات الطاقة في نواة الفحم او شيئا من هذا القبيل . فالاجراءات التي نقوم بها لحساب مستويات طاقة الالكترونات خارج النواة لا يمكن تطبيقها في داخل النواة لان القوى النووية ما تزال غير معروفة جيدا .

وللذهاب الى ابعد من ذلك في هذا المجال عكف الفيزيائيون التجريبيون على دراسة ما يحدث في الطاقات العالية جدا . فراحوا يجمعون النترونات ببروتونات ذات طاقة عالية جدا فحصلوا على نتائج غريبة . ومن دراسة هذه النتائج نأمل ان نتفهم القوى المتبادلة بين

النترونات والبروتونات . لقد فتحت هذه التجارب علبة العجائب !  
فقد كنا نريد منها فقط أن تعطينا معلومات أكثر عن هذه القوى إذا بها  
تكشف لنا ، نتيجة التصادم العنيف بين النترون والبروتون ، عن عالم  
جديد من جسيمات أخرى . فالتجارب التي كانت تستهدف فهم هذه  
القوى جلبت إلينا أكثر من أربع دزينات من الجسيمات الجديدة ؛ وقد  
وضعناها في حقل النترون والبروتون ( شكل ٣٣ ) لأنها تتفاعل مع  
النترونات والبروتونات ولها شأن كشأن القوى المتبادلة بينهما .

النترونات بروتونات	الكترونات فوتونات غرافيتونات نترينوات
( أكثر من ٤ دزينات جسيمات أخرى )	ميزونات مو ( ميونات ) نترينوات مو
+ جميع الجسيمات المضادة	

### شكل ٣٣

ولتتويع ذلك كله اكتشفنا ، لدى تحريك هذا الوحل كله ، شيئين  
غريبين عن قضية القوى النووية . أولهما الميزون مو ، أو الميون ، وثانيهما  
نترينو آخر . فأصبح لدينا نوعان من النترينو ، أحدهما يفيد مع  
الالكترون والثاني مع الميزون مو . والجديد العجيب المذهل هو أن جميع  
خواص الميون والنترينو الوافد معه أضحت اليوم معروفة ، أو هكذا  
يبدو لنا ، من وجهة النظر التجريبية وتبين أنها تتصرف تماما كما  
يتصرف الالكترون والنترينو الوافد معه باستثناء أن كتلة الميون تساوي  
٢.٧ مرات من كتلة الالكترون ؛ ذلك هو الفرق الوحيد بينهما ، وهذا  
أمر غريب . ثم ... سيل غزير !... أربع دزينات من الجسيمات  
الإضافية - عدا الجسيمات المضادة . وقد منحت أسماء عديدة :  
ميزونات ، بيونات ، لمدا ، سفما ... ؛ ان هي الا أسماء ... وازاء

اربع دزینات جسيمات لا بد من عدد كبير من الاسماء ! ولحسن الحظ تبين أن هذه الجسيمات تظهر على شكل طوائف . وبعضها يتجلى بشكل زائف ، بمعنى أن فترة حياتها قصيرة لدرجة أنها اليوم موضع مناقشة لمعرفة فيما إذا كان بالامكان حقا الايمان بوجودها ؛ لكنني لن ادخل في هذا الموضوع .

ولتوضيح مفهوم الطائفة سأعتبر حالة النترون والبروتون . فلهما كتلتان متساويتان بفارق من رتبة واحد بالالف . فاحدهما تساوي ١٨٣٦ مرة من كتلة الالكترتون والآخرى ١٨٣٩ مرة منها . والادھش من ذلك أن بينهما داخل النواة قوى متبادلة شديدة وأن القوة المتبادلة بين بروتونين لا تختلف اطلاقا عن القوة المتبادلة بين بروتون و نترون . وبتعبير آخر ، لا تسمح القوى النووية بالتمييز بين النترون والبروتون . فلدينا هنا اذن قانون تناظر ؛ يمكن وضع النترون في مكان البروتون دون أن يغير ذلك شيئا ، من وجهة نظر القوى النووية فقط . لكن وضع البروتون في مكان النترون يولد فرقا كبيرا من وجهة نظر الشحنة الكهربائية لان البروتون ، على عكس النترون ، يحمل شحنة كهربائية . فهذا التناظر هو اذن من النوع الذي أسميناه التناظر التقريبي ؛ فهو صحيح من أجل التفاعلات القوية في القوى النووية ولكنه ليس صحيحا في أعماق الطبيعة لانه لا ينطبق على علم الكهرباء . انه تناظر جزئي ولا بد لنا من اعتبار التناظرات الجزئية .

والآن وقد توسعت هذه الطوائف ندرك أن هذا الابدال ، من نوع بروتون ب نترون ، يمكن أن يتوسع ليشمل تشكيلة اكبر من الجسيمات . لكن الدقة هنا اضعف . فالتأكيد بأن النترون يمكن دوما أن يحل محل البروتون هو تأكيد تقريبي - لا يصح في الكهرباء - لكن الابدالات الاوسع التي امكن اكتشافها تعطي تناظرا اضعف من هذا . ومع ذلك فقد ساعدت هذه التناظرات الجزئية على تجميع الجسيمات في طوائف وبالتالي على اظهار الاماكن التي ينقصنا فيها جسيمات وعلى اكتشاف جسيمات جديدة .

وهذا الأسلوب ، الذي يتلخص بتخمين العلاقات بين الطوائف ، يعطي صورة للاجتهاد الأولي في شئون الطبيعة قبل حصول الاكتشاف الحقيقي لقانون أساسي جوهري . والامثلة على هذا الأسلوب عديدة في تاريخ العلم . فالكشاف مندليف<sup>(١)</sup> للجدول الدوري للعناصر تم بأسلوب مشابه ؛ فكان ذلك مرحلة أولية ؛ أما التفسير الكامل لهذا الجدول فقد جاء ، بعد ذلك بكثير ، مع النظرية الذرية . وكذلك تم تنظيم المعلومات عن مستويات الطاقة النووية من قبل ماريا ماير ويانسن<sup>(٢)</sup> فيما أسماه النموذج الطبقي للنواة . فالفيزياء هي أسلوب التشابهات الذي يتلخص في تصنيف واختصار مجموعة كبيرة بفضل تخمينات تقريبية .

وبالإضافة الى هذه الجسيمات لدينا جميع المبادئ التي تكلمنا عنها : مبادئ التناظر والنسبية والتصرف الكمومي ؛ وبالنسبية يتصل مبدأ أن جميع قوانين الانحفاظ يجب أن تكون موضعية .

وإذا جمعنا هذه المبادئ كلها نكتشف أنها أكثر من اللازم وانها متناقضة . فإذا جمعنا ميكانيك الكم مع النسبية مع فكرة أن كل شيء موضعي ، بالإضافة الى مجموعة أخرى من الفرضيات المستورة . نقع في تناقض لأننا نحصل على اللامتناهي لدى حساب كميات شتى . وكيف يمكن أن نقبل أن اللامتناهي ينسجم مع الطبيعة ؟

وكمثال على هذه الفرضيات المستورة التي ذكرتها الآن ، والتي تمنعنا ميولنا المسبقة من فهم معناها الحقيقي ، أسوق القضية التالية :

---

(١) مندليف ، ديمتري ايفانوفيتش ، ١٨٣٤ - ١٩٠٧ ، كيميائي روسي .

(٢) ماريا ماير ، فيزيائية أمريكية نالت جائزة نوبل عام ١٩٦٣ وأصبحت أستاذة في جامعة كاليفورنيا عام ١٩٦٠ .

هنس دانييل يانسن ، فيزيائي ألماني نال جائزة نوبل عام ١٩٦٣ وأصبح مديرا لمؤسسة الفيزياء النظرية في هايدلبرغ عام ١٩٤٩ .



إذا حسبنا الاحتمال من أجل كل امكانية - لنقل ٥٠٪ من أجل شيء معين ، ٢٥٪ من أجل شيء معين آخر ، وهكذا حتى يكتمل العدد ١٠٠٪ - يجب أن يكون مجموع احتمالات كل الامكانيات مساويا ١ ، ونعتقد أن مجموع الامكانيات لا بد أن يعطي ١٠٠٪ ، وهذا يبدو معقولا . لكننا لا نصادف المشاكل الا في الافكار المعقولة !

وفكرة مشابهة أخرى هي ان الطاقة شيء يجب أن يكون موجبا دوما - لا يمكن أن تكون الطاقة سالبة . وفكرة أخرى اضيفت ، على الأرجح ، قبل أن نقع في تناقض وتسمى السببية وتقول ان النتائج لا يمكن أن تسبق اسبابها .

والواقع ان أحدا لم يتمكن من بناء نموذج خال من افكار الاحتمالات والسببية ويكون ، في الوقت نفسه ، منسجما مع ميكانيك الكم والنسبية والموضعية و ... الخ . وهكذا لا نعلم تماما أي الفرضيات المستعملة هي التي تقودنا الى مشكلة اللامتناهيات . مشكلة جميلة ! ومع ذلك يتبين أن من الممكن تكتيس اللامتناهيات الى تحت السجادة ، بحيلة كبيرة ، والاستمرار مؤقتا في حساباتنا .

تلك هي اذن الاوضاع الحالية . واناقتش الآن وسائل البحث عن قانون جديد .

يلجأ عموما الى الوسيلة التالية . نبدأ بالتخمين ثم نحسب نتائج تخميننا لنرى ماذا يستدعي هذا القانون لو كان حدسنا صحيحا . ثم نقارن نتائج حساباتنا مع الطبيعة بفضل التجربة . فاذا وجدنا اختلافا كان تخميننا خاطئا . وهذا النص البسيط هو مفتاح العلم . ان جمال الفكرة موضوع الحدس لا يغير شيئا - كما ان ذكاء أو شخصية المخمن لا يغيران شيئا - فاذا لم تتفق مع التجربة فهي خاطئة رغم جمالها ؛ وهذا هو الاساس . صحيح انه يجب اجراء عدة تحقيقات قبل أن نصدر الحكم ، لان المجرب قد يكون ارتكب خطأ في حساب شيء ما او فاته أحد جوانب التجربة كان يكون الجهاز قدرا او شيئا آخر من هذا القبيل .

وقد يرتكب الشخص الذي يخمن . ولو أجرى التجربة بنفسه . خطأ في تحليل النتائج . كل هذا قد يحدث ، وعندما أقول : « إذا لم يحصل اتفاق مع التجربة فالحدس خاطيء » أعني بعد التحقق من التجربة ومن الحسابات وبعد تقليب النظر جيدا في كل شيء حتى نتأكد من أن نتائج التخمين هي بالفعل والمنطق نتائج التخمين وأن النتيجة لا تتفق مع التجربة الجارية بعناية وانتباه .

قد تأخذون مما قلت انطبعا سيئا عن العلم فيخيل اليكم أننا نقضي العمر في تخمين الامكانيات ومقارنتها بالتجربة ، مما يضعف دور التجربة كثيرا . والواقع أن المجرئين أناس فردانيون . فهم يحبون اجراء التجارب حتى ولو لم يخمن أحد نتائجها ، وغالبا مايتحرون مجالات يعرفون سلفا أن النظريين لم يقوموا فيها بأي تخمين . فنحن ، مثلا ، نعرف كثيرا من القوانين لكننا لانعلم اذا كانت صحيحة حقا في مجال الطاقات العالية ، وصحتها فيها ليست سوى افتراض . فحاول المجرّبون اجراء تجارب في الطاقات العالية ، وكانت النتيجة أن بعض هذه التجارب خلقت مشاكل أي أنها كشفت لنا عن خطأ شيء كنا نعتبره صحيحا . فالتجربة قد تعطي نتائج غير متوقعة فتدعونا من جديد الى التخمين . وكمثال على النتائج اللامتوقعة ذكرنا الميزون مو والتريينو الوافد معه اللذين لم يخمن أحد على الإطلاق وجودهما قبل اكتشافهما ، حتى أن احدا لم يصدر عنه حتى اليوم أي تخمين يجعل هذه النتيجة طبيعية .

لاشك أنكم تشعرون بأن هذه الطريقة يمكن بواسطتها أن نفند اية نظرية معينة . فاذا كنا ازاء نظرية آتية عن التخمين ويمكن انطلاقا منها أن نحسب نتائجها ثم نقارن هذه النتائج بنتائج التجربة امكنا أن نفندها اذا لم تتطابق النتائج . وبذلك يمكن مبدئيا أن نتخلص من كل نظرية خاطئة . فبالامكان اذن البرهان على خطأ نظرية معينة ؛ ولكن تلاحظون انه من غير الممكن البرهان على صحتها .

افترضوا انكم اخترعتم نظرية فحسبتم نتائجها ثم اكتشفتم في كل

مرة ان هذه النتائج تتفق مع التجربة . فهل هذه النظرية صحيحة ؟ كلا ، وكل ماهناك أنكم لم تستطيعوا اثبات خطئها . فقد تحسبون منها ، فيما بعد ، تشكيلة من النتائج اكثر عددا وقد يكون لديكم امكانية اجراء تشكيلة اخرى من التجارب ، وعندها قد يحدث ان تكتشفوا أن هذه النظرية خاطئة . ومن هنا تفهمون لماذا تستمر صحة بعض القوانين كقوانين نيوتن في الحركة . لقد خمن نيوتن قانون التثاقل وحسب كل ماينتج عنه ثم قارن ذلك بالتجربة - وقد مرت مئات السنين قبل ان يكتشف تجريبيا الفرق الضئيل في حركة عطارد . فخلال هذه المدة كلها لم يمكن اثبات خطأ هذه النظرية واعتبرت صالحة بصورة مؤقتة . ولكن لم يمكن البرهان ابدأ على انها صحيحة لان التجربة القادمة قد تنجح في اثبات خطأ نظرية كانت نعتقد صحيحة . فلا مجال اذن ابدأ للتأكد المطلق من صحة آرائنا ، وكل مايمكن تأكيده هو امكانية الخطأ . والمدهش ، مع ذلك ، هو اننا ما نزال نملك نظريات تدوم كل هذا الوقت .

ويوجد وسيلة لايقاف تقدم العلم وتعود الى عدم اجراء تجارب الا في المجالات التي نعرف قوانينها . لكن التجريبيين مولعون بالبحث الدائب والمجهد في تلك المجالات بالذات التي يحتمل إمكانية البرهان على خطأ النظريات فيها . وبتعبير آخر ، نحن نحاول ، باستمرار وباسرع مايمكن اثبات اننا مخطئون لان تلك هي الوسيلة الوحيدة للتقدم . فمثلا ، لدينا اليوم ظواهر كثيرة في الطاقات المنخفضة ولكننا لا نجد بينها شيئا غير عادي ، ولذا نعتقد ان كل شيء فيها يسير على مايرام فلا نضع اي برنامج خاص للبحث عن مشاكل في التفاعلات النووية ، ولا في الناقلة العليا . وانا استهدف ، في هذه المحاضرات ، اكتشاف القوانين الاساسية . والفيزياء بمجموعها ، او المهم منها ، تسعى الى تفهم الظواهر ، كالناقلية العليا والتفاعلات النووية ، بدلالة القوانين الاساسية الكبرى . لكنني اهتم الآن باكتشاف ما هو غير صحيح في القوانين الاساسية ولما كنا لا نعرف ما يستحق البحث في مجال الطاقات المنخفضة تلجأ التجارب الحالية الى التفتيش في مجال الطاقات العالية .

ونقطة أخرى لا بد من ذكرها وهي : لا يمكن اثبات خطأ نظرية غير دقيقة . اذا كان نص الفرضية رديئا وغامضا بعض الشيء وكانت الطريقة المستعملة لحساب نتائجها فيها شيء من عدم الدقة ، اي اذا كنتم غير متأكدين وتقولون : « اعتقد أن كل شيء صحيح لانه ينتج عن كذا ولان هذه الفكرة أو تلك تؤدي الى هذه النتيجة أو تلك ولاني أستطيع بالتقريب ان اشرح كيف يتم ذلك . . . » عندئذ سترون أن هذه النظرية صحيحة لعدم امكانية اثبات خطئها ! وتصلون الى موقف مماثل اذا كانت النتائج غير معينة اي اذا استطعتم ، بقليل من المهارة ، أن تجدوا تشابها بين اية نتيجة تجريبية والنتائج المنتظرة . ولا ريب انكم متعودون على اوضاع مشابهة في مجالات أخرى مثل : فلان يكره أمه ؛ ذلك ، بالتأكيد لانها لم تحبه ولم تدله كفاية عندما كان صغيرا . لكن ، بعد التحقيق ، نكتشف انها تحبه في الواقع كثيرا ولا يوجد اية مشكلة ، وما كرهه لها الا نتيجة لتدليلها اياه اكثر من اللازم عندما كان صغيرا! فبواسطة نظرية غامضة يمكن الوصول الى نتيجة او الى سواها . والوسيلة للخروج من هذا الوضع هي التالية . اذا أمكن ، سلفا وبالضبط ، تعيين متى يكون الحب اقل من اللازم ومتى يكون اكثر من اللازم ، عندئذ يكون لدينا نظرية مبررة تماما ويمكن أن نقوم على أساسها بالتحريات . لكن بعض الناس يجيبون على هذه الملاحظة بما يلي : « لا يمكن في علم النفس تحديد تعاريف بهذه الدقة » حسنا ، لكنكم عندئذ لا يمكن ان تزعموا انكم عرفتم شيئا في علم النفس .

ستعلمون الآن ، وبالهول ما ستعلمون ! انه يوجد في الفيزياء مثالان من هذا النوع تماما . فلدينا تلك التناظرات التقريبية تحسبون بواسطتها مجموعة نتائج مفترضين ان التناظر تام . وعندما تقارنونها بالتجربة تجدون اختلافا . فاذا كان هذا الاختلاف ضئيلا تقولون : « لا بأس ! » لكن اذا كان كبيرا تقولون : « ليكن ، لكن هذا يدل على أن هذه الظاهرة حساسة ، بصورة خاصة ، ازاء عدم تمام هذا التناظر » . لكم ان تسخروا ، لكننا بهذه الطريقة نتقدم . فعندما نكون ازاء ظاهرة جديدة

تماما ، وهذه الجسيمات جديدة علينا ، نلجأ الى هذه الاساليب الماكرة ، الى حاسة الشم العلمي للنتائج ، تلك الحاسة التي ينطلق منها كل علم .

ففكرة التناظر في الفيزياء تشبه ما يجري في علم النفس . لا تضحكوا عاليا ! فنحن في هذه الطريقة حذررون جدا ، لان الانزلاق السيئ سهل الحصول في النظريات الغامضة ، وهي من الصعب اثبات خطئها ولا بد من كثير من المهارة والخبرة في هذا النوع من اللعب كي لا نخسر الجولة .

وفي هذه الطريقة المستندة على التخمين وحساب النتائج ومقارنتها بالتجربة قد نصادف عقبات كاداء في مراحل عديدة ؛ منها ما نصادفه في مرحلة الفرضية ، نتيجة نقص في الافكار ، او في مرحلة الحسابات . فمثلا ، اقترح يوكاوا(١) فكرة تخص القوى النووية عام ١٩٣٤ ، لكن احدا لم يتمكن من حساب نتائجها بسبب الصعوبات الرياضية الجمة ولم يمكن مقارنة فكرته بالتجربة . وبقيت نظريات يوكاوا قائمة حتى حصل اكتشاف كل تلك الجسيمات الاضافية التي لم يرها يوكاوا ، وعندها اتضح لنا ان تلك النظرية لم تكن من البساطة التي توهمها . وكمثال على عقبة نصادفها في المرحلة التجريبية نسوق نظرية التثاقل الكمومية . فهي تتقدم ببطء شديد ، اذا لم نقل انها لم تتقدم بالمرّة ، لانه لم يمكن حتى الآن تحقيق تجربة يتدخل فيها ميكانيك الكم والتثاقل جنباً الى جنب . ففوة التثاقل ضعيفة جدا اذا قورنت بالقوة الكهربائية.

وانا كفيزيائي نظري ذي ميول الى المرحلة الاولى في البحث اريد ان اشرح لكم الان كيف نصنع الفرضيات . فأصل الفرضية ، كما قلت سابقا ، ليس مهما ولكن المهم هو ان تتفق مع التجربة وأن يكون هذا الاتفاق ادق ما يمكن . وقد تقولون لي : « هذا أمر سهل جدا . وما علينا سوى ان نصنع آلة حاسبة ضخمة ذات دوايب ومسننات كالات اليانصيب تعمل سلسلة من الفرضيات وكلما أخرجت فرضية بخصوص

---

(١) هيدكي يوكاوا فيزيائي ياباني . مدير مؤسسة البحوث في الفيزياء الاساسية في كيوتو . حاز جائزة نوبل عام ١٩٤٩ .

سير الطبيعة تقوم راسا بحساب نتائجها ثم تقارن هذه النتائج بقائمة من النتائج ندخلها سلفا في الطرف الآخر من الآلة . « اي انكم تقولون بأن التخمين هو عمل الاغبياء . لكن الواقع على عكس ذلك ، وسأشرح لكم السبب .

القضية الاولى : من اين نبدأ ؟ ستجيبون : « نطلق من جميع المبادئ المعروفة . » لكن المبادئ بمجموعها تناقض بعضها بعضا ، ولا بد من استخلاص شيء . يرد علينا اكوام من الرسائل من اناس يصرون على وضع ثقوب في فرضياتنا . ونصنع هذه الثقوب كي نترك مكانا لفرضية جديدة . فيقال لنا : « يا قوم ، تقولون دوما ان المكان مستمر . فكيف عرفتم ، عندما تصلون الى ابعاد مكانية صغيرة جدا ، اذا كان يوجد حقا العدد الكافي من النقاط المرحلية ، وأن هذا ليس فقط كمية من النقاط المنفصلة بمسافات صغيرة ؟ » او يقال : « تلك السعات التي تكلمنا عنها في ميكانيك الكم ، انها معقدة ولا معقولة ، ما الذي يدعوكم الى الاعتقاد بأنها صحيحة ؟ » ان هذه ملاحظات بديهية وواضحة تماما لكل من يعملون في هذه القضية . ولا فائدة من لفت النظر اليها . والمسألة ليست فقط الشيء الذي يمكن أن يكون خطأ . بل ، بالضبط ، ما يمكن أن نضع في مكانه . ففي حالة المكان المستمر لنقترح فكرة دقيقة يكون بموجبها المكان مؤلفا حقا من سلسلة نقاط وان الفراغ بين هذه النقاط لا يعني شيئا وان هذه النقاط تشكل شبكة مكعبات . نستطيع عندئذ أن نبرهن راسا أن هذا خطأ ، انه لا يفي بالغرض . فالمسألة ليست ببساطة أن نقول عن شيء انه خطأ بل أن نضع مكانه شيئا آخر - وهذا ليس سهلا . وبمجرد أن توضع فكرة دقيقة حقا نشعر راسا انها لا تفي بالغرض .

والصعوبة الثانية هي وجود عدد لا متناه من الامكانيات التي من هذا النوع . وهذا يشبه وضعنا اذا حاولنا ان نفتح صندوق خزانة ذا ارقام سرية ؛ فنحاول طويلا لنكتشف ترتيب الارقام ، وفجأة يتقدم انسان لا يدري شيئا عن الترتيبات التي جربناها ويقول : « لماذا لا تجربون

الترتيب ١٠ - ٢٠ - ٣٠ ؟ » فنحن قد جربنا عدة ترتيبات وربما كان من جملتها ١٠ - ٢٠ - ٣٠ . وربما كنا نعلم أن العدد في الوسط هو ٣٢ وليس ٢٠ . وقد نعلم سلفا أن الترتيب يتألف من خمسة أرقام ... فأرجوكم إذن أن لا تكتبوا لي محاولين أن تقترحوا ترتيبا قد يفني بالفرض . سأقرأ رسائلكم - سأقرأها على كل حال لاتأكد فيما اذا كنت قد فكرت أم لا ، بمقترحاتكم - لكن الاجابات ستسفرق مني وقتا اطول من اللازم لأنني اعلم أن مقترحاتكم لن تختلف عموما عن الاقتراح « جرب ١٠ - ٢٠ - ٣٠ » . والطبيعة ، كما هي الحال دائما ، ذات خيال اوسع من خيالنا بكثير والدليل هو كل ما ذكرناه عن النظريات البارة والعميقة . وليس من السهل ايجاد فرضيات على هذه الدرجة من البراعة والعمق . والتخمين الجيد لا بد له من ذكاء حاد وهذا غير متوفر في احسن الآلات الحاسبة .

والآن اريد ان اتكلم عن فن تخمين قوانين الطبيعة ، لانه فن حقا . كيف نعمل ؟ قد تقترحون ان نراجع كتب التاريخ كي نرى كيف فعل اسلافنا . لنستشر التاريخ اذن .

يجب البدء بنيوتن . لم يكن تحت تصرفه سوى معلومات ناقصة ونجح مع ذلك في اكتشاف القوانين بأن وضع معا مجموعة افكار قريبة كلها من التجربة . ولم يكن يوجد هوة كبيرة بين نتائج النظرية والتجربة . كانت تلك اول طريقة ولكنها ليست ملائمة اليوم . وبراعة اخرى ظهرت من مكسويل الذي وجد قوانين الكهرباء والمغناطيسية . واليك ما فعله : لقد وضع معا جميع قوانين الكهرباء التي اكتشفها فارادى وسواه من قبل . ولدى دراستها تبين له انها متناقضة رياضيا . ولزالة هذا التناقض اضاف حدا آخر للمعادلة . وقد فعل ذلك بأن اخترع لنفسه نموذجا من الدواليب المسننة واللولبية ... الخ في الفراغ . فوجد القانون الجديد - لكن احدا لم يعره اهتماما لعدم الاعتقاد بالمسننات . ورغم ان عدم الاعتقاد بها ما زال قائما اليوم الا ان المعادلات التي حصل عليها كانت صحيحة . فقد يكون المنطق اذن خطأ ويكون الجواب مع ذلك صحيحا .

اما بخصوص النسبية فامر اكتشافها مختلف تماما . فقد تراكت الفرائب : أصبحت القوانين المعروفة تعطي نتائج متناقضة . وكانت قد دخلت ، في المحاكمة ، طريقة جديدة تستند على اعتبارات التناظر . واصبح الوضع صعبا جدا . فلأول مرة أدرك الناس أن شيئا مهما كقوانين نيوتن يمكن أن تبدو صحيحة فترة طويلة وهي في نهاية الامر خاطئة . وميكانيك الكم تم اكتشافه بطريقتين مستقلتين - وهذا درس بحد ذاته . وهنا أيضا ، وبشكل أخطر ، كشفت التجربة عن مجموعة من الفرائب ، عن أشياء لا يمكن اطلاقا أن تفسر بالقوانين التي كانت معروفة . ولم يكن الذنب ناتجا عن قلة القوانين بل عن كثرتها . هل يمكنكم أن تتوقعوا ذلك - كلا . لقد وجد سبيلان ، سلك أحدهما شرودنغر<sup>(١)</sup> الذي حزر المعادلة وسلك الآخر هايزنبرغ الذي أصر على أن لا تعالج سوى القضايا القابلة للقياس تجريبيا . وهاتان الطريقتان المختلفتان فلسفيا أوصلتا الى نفس الاكتشاف .

ومنذ فترة أقصر جاء اكتشاف قوانين التفكير الضعيف الذي تكلمت عنه عندما يتفكك النترون الى بروتون والكترون و نترينو مضاد - وهي قوانين معروفة جزئيا فقط - فأدى الى وضع يختلف قليلا . وكان ذلك ، في هذه المرة ، نقصا في معلوماتنا وليس اكتشاف معادلة . ولكن كان هناك صعوبة خاصة وهي أن جميع التجارب كانت خاطئة . فكيف يوجد جواب صحيح اذا كان حساب النتائج لا يتفق مع التجربة ؟ والقول بأن التجارب هي الخاطئة يحتاج الى شجاعة . وسأشرح لكم فيما بعد دواعي هذه الشجاعة .

واليوم ليس عندنا غرائب ( مبدئيا ) . صحيح أن لدينا تلك اللامتناهيات التي تتدخل عندما نضع جميع القوانين معا ، لكن الناس الذين يكنسون الأقدار ، ليضعوها تحت السجادة ، هم ماهرون لدرجة

---

(١) ارفين شرودنغر ، ١٨٨٧ - ١٩٦١ ، فيزيائي نظري نمساوي . حاز على جائزة نوبل عام ١٩٣٣ مع بول ديراك .



انهم يقنعونكم بعدم وجود غرائب خطيرة . هذا وان وجود هذه الجسيمات لم يرد في معلوماتنا شيئا سوى ان معلوماتنا ناقصة .

انني متأكد ، كما يتضح من الامثلة التي ذكرناها ، من ان التاريخ لا يعيد نفسه في الفيزياء ، واليكم السبب . ان الطرائق التي مثل « فكروا في قوانين التناظر » أو « ضعوا المعلومات على شكل رياضي » أو « احزروا المعادلات » معروفة اليوم لدى الجميع ونحن نجربها كلها في كل مرة . فعندما تتعسر عليكم الامور فالجواب لا يمكن ان يكون واحدا من هؤلاء لانكم جربتموها قبل كل شيء . وكلما وجدتم انفسكم في ضائقة ازاء كثير من المزعجات والمشاكل فذلك لانكم استعملتم نفس الطرائق السابقة . فالاكتشافات الجديدة لا تأتي الا من افكار جديدة . فليس التاريخ اذن ذا فائدة تذكر .

والآن اريد ان اوجز لكم فكرة هايزنبرغ التي توصي بان لانطلق مما لا يمكن قياسه . فكثير من الناس يتكلمون عن هذه الفكرة دون ان يفهموها حقا . ويمكن اعطاء التفسير التالي: ان الاقتراحات والابتكارات التي تقدمونها يجب ان تكون نتائجها الحسابية قابلة للمقارنة بالتجربة - اي لا يجب ان تكون النتائج من الشكل : « ان الخنفشار الواحد يجب ان يساوي ثلاث طنمسات » في حين ان احدا لا يعرف ماهو الخنفشار ولا ماهي الطنمسة . فأشياء من هذا القبيل لاتجدي بالطبع فتىلا . اما اذا كان ممكنا مقارنة النتائج بالتجربة فان هذا هو غاية المرام . هذا وان ورود الخنفشار والطنمسة في الفرضيات أو عدم ورودهما سيان . ولا مانع من وضع مانريد من الزوائد شريطة ان يمكن مقارنة النتائج بالتجربة . وهذا ليس دوما مفهوما بشكل جيد . فالتناس كثيرا مايتدمرون من التعميم اللا مبرر لمفاهيم الجسيمات والمسارات و ... الخ في مضمار الذرات لكن كلا ، ليس هذا التعميم غير مبرر . بل لابد لنا من ان نندفع دوما الى ابعد ، الى ابعد من المجال المعروف ، الى ابعد من هذه المفاهيم القديمة . ان هذا بالطبع خطر وغير مأمون ، ولكنه الوسيلة الوحيدة للتقدم . والعلم ، بالرغم من كونه غير اكيد ، يجب ان يكون مفيدا . وفائدته لاتحصل الا اذا

تحدث عن تجارب لم تتركب بعد ، ولا جدوى من أن نخبرنا فقط عما قد حدث ، بل يجب تطبيق الافكار على مجالات لم يتم تحريها تجريبيا . فقانون التناقل الذي خلق كي يفسر حركة الكواكب لم يكن ليفيد شيئا لو أن نيوتن قال في نفسه : « الآن فهمت الكواكب » دون أن يشعر بقدرته على اجراء المقارنة مع جذب الارض للقمر – وللجيال التالية أن تقول : « ربما كان التناقل هو السبب في تماسك المجرات وماعليها سوى أن نحاول » . وقد تقولون لي : « عندما نصل الى أبعاد المجرات ، ونحن لانعلم عنها شيئا ، فان كل شيء ممكن » ؛ هذا صحيح ، لكن ليس العلم أن نقبل هذا النوع من التحديد ؛ ولا يوجد فهم نهائي للمجرات . ولو افترضتم ، من جهة أخرى ، أن سلوكها يتفسر فقط بالقوانين المعروفة فان هذه الفرضية تكون محدودة ومطلقة وسهلة النقض بالتجربة والذي نبحث عنه فرضيات بسيطة ، كبيرة الدقة وسهلة المقارنة بالتجربة . الواقع ان سلوك المجرات حتى اليوم لا يبدو مناقضا لهذه الفرضية .

ويمكن أن أسرد لكم مثالا آخر أكثر إثارة وأهمية . لاشك أن الفرضية الأكثر قدرة والأكثر مساهمة في تطور البيولوجيا هي أن كل ماتفعله الحيوانات يمكن أن تفعله الذرات ، أن الأشياء التي نراها في عالم البيولوجيا هي نتائج سلوك الحوادث الفيزيائية والكيميائية دون « شيء صغير اضافي » . وقد تقولون عندئذ : « كل شيء ممكن في الكائنات الحية » ، اذا قبلتم أن لا تفهموا أبدا الكائنات الحية . فمن الصعب القبول أن موجات سواعد الاخطبوط ليست سوى ذرات تتلاعب وفق قوانين الفيزياء المعروفة . ولكن عندما نقوم بابحاث مع هذه الفرضية نتوصل الى تخمين ما يحدث بدقة كبيرة . وبهذه الصورة نحقق تقدما كبيرا في الفهم : ان الساعد لم تقطع حتى الآن – لا يمكن القول ان هذه الفكرة خاطئة . ان العلم لا يتعارض مع اصدار الفرضيات رغم أن كثيرا من العوام يظنون العكس . فمنذ بضعة سنوات حصلت بيني وبين أحد العوام مناقشة حول الصحن الطائرة ! قلت له : « أنا لا أعتقد بالصحن الطائرة » . فأجاب : « هل هذا مستحيل ؟ هل يمكنك اثبات استحالتها ؟ » فقلت : « كلا . لا أستطيع اثباته ، لكنها غير محتملة

بالمرة . « وعندها قال : « انك لست علميا في شيء ! كيف يمكنك ان تقول انها غير محتملة اذا كان لا يمكنك اثبات انها مستحيلة ؟ » لكن هذا هو بالذات الموقف العلمي . ان العلم يعود ، فقط ، الى القول بما هو ارجح أو اقل احتمالا وليس الى اثبات ما هو ممكن وما هو مستحيل . ولكي احدد ما اعنيه بالضبط كان علي ان اقول له : « اسمع ، اريد ان اقول ، بموجب المعلومات التي لدي عن العالم ، ان قصص الصحن الطائرة ناتجة على الأرجح من لا عقلانيات الفكر البشري الارضي المعروفة لا من الجهود العقلانية المجهولة لذكاء خارجي عن الارض . » ان ما أقوله هو الأرجح ، وهو فرضية جيدة . فنحن نحاول دوما إيجاد التفسير الأرجح . ولا ننسى ، عندما لا نتوفق في تفسير ما ، وجوب البحث عن امكانيات اخرى ومناقشتها .

وكيف نحزر ما يجب الاحتفاظ به وما يجب طرحه بعيدا ؟ ان عندنا كل تلك المبادئ الجميلة وهذه الامور المعروفة ، ولكن عندنا هذه الصعوبات : اما ان نحصل على لا متناهيات او ان نفسرنا ليس كافيا — تنقصنا بعض الجوانب . وازاء ذلك نضطر أحيانا الى نبذ بعض الافكار ، وقد حدث في الماضي ان بعض الافكار الراسخة قد نبذت . فالمسألة تعود الى معرفة ما يجب نبذه وما يجب الاحتفاظ به . فلو نبذنا كل شيء لكان ذلك مبالغة منا ولما بقي لدينا ما نستهدي به . فمبدأ انحفاظ الطاقة له ، على كل حال ، منظر جميل ولا اريد ان انبذه . وان تخمين ما يجب امساكه وما يجب نبذه يتطلب مهارة فائقة . الواقع ان ذلك هو بلاشك مسألة حظ ولكن يبدو انه يتطلب كثيرا من المهارة .

ان ساعات الاحتمال غريبة جدا ، وأول ما يفكر المرء به هو ان الافكار الغريبة هي افكار لا يؤبه لها . ومع ذلك فان كل ما يمكن استنتاجه من نظريات وجود ساعات الاحتمال في ميكانيك الكم هو أنها ، رغم غرابتها ، ملائمة مائة في المائة من اجل القائمة الطويلة للجسيمات الغريبة . فانا ، اذن ، لا اعتقد اننا ، عندما نكتشف تركيب احشاء العالم ، سنفهم ان هذه الافكار خاطئة . فهذا الجزء ، على ما اعتقد ، صحيح ؛ لكنني

لم أفعل سوى التخمين : وبذلك اشرح لكم كيف نخمن .

ومن جهة أخرى اعتقد أن نظرية المكان المستمر خاطئة لاننا نحصل على تلك اللامتناهيات وعلى صعوبات أخرى ، ويبقى لدينا مسائل تخص تعيين حجم جميع الجسيمات . وعندى بالآخرى انطباع أن الافكار البسيطة في الهندسة تصبح خاطئة عندما نعممها على الامكنة الصغيرة جدا . وهنا اكتفي طبعاً بترك ثقب دون أن أقول لكم ما يجب أن نضع فيه . ولو قلته لكم لانهت احاديثي بقانون جديد .

ويستغل بعض الناس تناقض المبادئ ليقولوا بوجود عالم منطقي واحد ويعتقدون أننا لو جمعنا هذه المبادئ معا وقمنا بحسابات دقيقة فسنوصل ، ليس فقط الى استنتاج المبادئ ، ولكن أيضاً الى اكتشاف أن هذه المبادئ هي الوحيدة الممكنة اذا وجب على هذا العالم أن يبقى منطقياً . وهذه الفكرة تبدو لي مبالغاً فيها ؛ فهي كمن يطلق النار على رباط حدائه كيف يرتفع في الهواء . فانا اعتقد بوجود الانطلاق من مبدأ أن بعض الأشياء موجودة - ليس كل الجسيمات الخمسين ولكن بضعة أشياء صغيرة ، كالالكترونات ... الخ - ومن ثم أن كل المبادئ يجب أن تؤدي الى تعيين هذا العدد الكبير من الوقائع . أي أنني لا اعتقد بإمكانية الحصول على المجموعة كلها من مجرد الاعتبارات المنطقية .

وتبرز مشكلة أخرى وتلخص في مغزى التناظرات الجزئية كالتناظر الموجود بين النترون والبروتون ، الذي لا يصح في الكهرباء ، والتناظر المرآتي الانعكاسي التام الا في نوع واحد من التفاعل . انها مشكلة مزعجة والناس ازاءها فريقان . فريق يقول بأنها بسيطة وأن هذه القوانين متناظرة حقاً لكن تعقيداً صغيراً يجعلها تنحرف قليلاً ؛ وفريق آخر ، ليس له من نصير سواي ، يؤكد العكس ويقول أن المشكلة قد تكون عويصة ولن تتجلى ببساطتها الا من خلال تعقيداتها . فالاغريق كانوا يعتقدون أن مسارات الكواكب دائرية . ثم اتضح أنها اهليلجية . فهي ليست متناظرة تماماً لكنها لا تختلف كثيراً عن الدوائر . فلماذا هي شبه

متناظرة ؟ ان ذلك ناجم عن مفعول طويل الامد ومعقد ، ناتج عن احتكاك المد والجزر - فكرة عويصة . ربما كانت الطبيعة في أعماقها متناظرة تماما في جميع الاشياء لكن تعقيدات الواقع تجعلها تظهر شبه متناظرة والاهليجيات هي اشباه دوائر . انها امكانية اخرى ، ولكن لا يدري احد شيئا ، وكل افكارنا فرضيات . لنفترض نظريتين ، ب و ج ، مختلفتين ظاهريا من وجهة النظر النفسانية وتحويان افكارا مختلفة ... الخ ، لكن جميع نتائجهما الحسابية متطابقة ومنسجمة مع التجربة . فالنظريتان المختلفتان في البدء ظاهريا تؤديان الى نتائج متشابهة . وهذا ما يمكن اثباته رياضيا بالبرهان على أن المنطق المنطلق من ب أو ج يعطي في كل الاحوال نتائج متطابقة . فاذا كنا ازاء نظريتين كهاتين ، كيف نقرر ايتهما الصحيحة ؟ ان هذا غير ممكن علميا لانهما كليهما على نفس الدرجة من الانسجام مع التجربة . فقد يحدث اذن أن تكون ازاء نظريتين متكافئتين رياضيا رغم انطلاقهما من افكار مختلفة جذريا ؛ ولا سبيل عندئذ ، علميا ، للاختيار بينهما .

ومع ذلك ولأسباب نفسانية وفي سبيل ايجاد نظريات جديدة يمكن ان لا تتكافأ هاتان النظريتان بصورة مطلقة بل يمكن ، على العكس ، أن تعطيا افكارا مختلفة . فاذا وضعنا النظرية في اطار معين نأخذ فكرة عما يجب تغييره . فقد توجد مثلا في النظرية ب فكرة تخص نقطة معينة وتقولون : « أريد أن أغير هذه الفكرة » . لكن ايجاد الفكرة التي يجب تغييرها مقابل ذلك في النظرية ج قد يكون امرا شائكا جدا - فقد لا تكون هذه الفكرة بسيطة أبدا . وبتعبير آخر : بالرغم من تكافؤ النظريتين قبل احداث التغيير فان بعض التغييرات تبدو طبيعية على احدها وليس على الاخرى . ف لأسباب نفسانية يجب اذن أن تحفظ ذاكرتنا جميع النظريات . وكل فيزيائي نظري جدير بهذا الاسم يعرف ستة أو سبعة نماذج نظرية مختلفة للفيزياء نفسها ؛ وهو يعلم أنها كلها متكافئة وان ليس باستطاعة أحد أن يقرر أبدا ، على هذا المستوى ، أيها الافضل ولكنه يحتفظ بها في ذاكرته آملا أن توحى اليه في المستقبل بأفكار جديدة في البحث . وهذا يذكرني بنقطة اخرى : ان الفلسفة او الافكار التي

تصاحب نظرية ما قد تتغير كثيرا عندما يطرا على النظرية تغييرات طفيفة . فافكار نيوتن عن المكان والزمان مثلا تنسجم بشكل جيد جدا مع التجربة ، لكن الحصول على الحركة الفعلية لمسار كوكب عطارد ، اى على فرق ضئيل ، اقتضى ادخال تعديلات جذرية على النظرية . والسبب هو ان قوانين نيوتن كانت على درجة كبيرة من البساطة والكمال واعطت نتائج دقيقة . وقد وجب ، للحصول على سبب الفروق الطفيفة، ان نغير النظرية تغييرا عميقا . فعندما نلفظ قانونا جديدا لا يجب خلق شذوذاً في شيء كامل بل يجب خلق شيء كامل آخر . وعلى هذا يوجد فرق عظيم في الآراء الفلسفية بين نظريات نيوتن ونظريات آينشتاين في الثاقل .

ما هما هاتان الفلسفتان ؟ انهما طريقتان فذتان حقا في الحساب السريع للنتائج . فالفلسفة ، او ما نسميه أحيانا ادراك القانون ، ليس سوى وسيلة يتمكن المرء بواسطتها من استذكار القوانين في رأسه كي يجد نتائجها بسرعة . وقد قال بعضهم ، وهذا صحيح في حالة كحالة معادلات مكسويل : « دعوا الفلسفة والافكار التي من هذا القبيل جانبا واوجدوا المعادلات فحسب . فالمسألة الوحيدة عندئذ هي حساب النتائج كي تنسجم مع التجربة ولا حاجة للفلسفة ولا للمناقشة ولا للتعليق على المعادلات . » وهذا صحيح بمعنى انكم لو اوجدتم المعادلات فحسب لن تؤثر فيكم الافكار المسبقة وسيكون تخمينكم اقرب الى الصحة .

ومن جهة أخرى قد تساعد الفلسفة على ايجاد النظريات . وهذا امر صعب . والى اولئك الذين يصرون على ان المهم هو ان تنسجم النظرية مع التجربة اريد ان اتخيل مناقشة بين عالم فلكي ، من قبائل المايا ، وتلميذه . ان علماء هذه القبائل كانوا يعرفون الحساب الدقيق للتنبؤات عن الكسوف والخسوف وعن مواضع القمر في السماء ومواضع كوكب الزهرة و... الخ ، يستخدمون لذلك علم الحساب العددي البسيط : يعدون ويجمعون ويطرحون ... الخ . فلا يتحدثون عن ماهية القمر

ولا عن الآراء في دورانه . بل يحسبون فقط الوقت الذي سيحدث فيه الخسوف والوقت الذي يصبح فيه القمر بدرا وهكذا . تخيلوا أن شابا جاء الفلكي وقال له : « عندي فكرة . ربما كانت هذه الاجرام تدور وأن السماء العالية تحوي كرات مصنوعة من شيء يشبه الصخر ، وقد نستطيع حساب حركاتها بطريقة تختلف تماما عن الطريقة التي تستهدف فقط حساب الاوقات التي تظهر فيها في السماء . » فيجيب الفلكي : « آه ! حسنا . وبأية دقة يمكنك أن تتنبأ عن الخسوفات . » ويقول الشاب : « لم اذهب بعد في دراستي الى هذا الحد . » وهنا يقول الفلكي : « لكننا يمكننا حساب الخسوفات بدقة احسن مما تفعل بنموذجك هذا ؛ دع عنك هذه الفكرة لان الطريقة الرياضية احسن طبعاً . » فعندما يأتي انسان بفكرة ويقول : « لنفترض أن العالم هكذا . » والناس ميالون الى أن يجيبوه : « ما هي الاجوبة التي تعطيها لهذه المسألة وتلك ؟ » فيقول : « لم اتقدم بعد في دراستي الى هذا المدى . » وعندها يقولون له : « لقد قطعنا نحن ، بما لدينا ، مدى طويلا وحصلنا على اجوبة دقيقة جدا . » فالمسألة تعود اذن الى معرفة فيما اذا كان علينا ، ام لا ، الاهتمام بالفلسفات الموجودة وراء الافكار . وطريقة عمل أخرى تتلخص طبعاً في ايجاد مبادئ جديدة . ففي نظريته في التثاقل اكتشف آينشتاين ، بالاضافة الى كل المبادئ الاخرى ، المبدأ الذي يخص فكرة تناسب القوى دوماً مع الكتل . ووجد المبدأ الذي من أجله لا تستطيعون ، اذا كنتم في سيارة تتسارع ، ان تميزوا وضعكم عن الوضع الذي تشعرون به عندما توجدون في حقل تثاقل . وباضافة هذا المبدأ الى المبادئ الاخرى نجح آينشتاين في استنتاج القوانين الصحيحة للتثاقل .

ان ذلك يعطيك لمحة عن عدد من الطرق الممكنة المتبعة في البحوث . والآن اريد ان انتقل الى بعض جوانب أخرى تخص النتيجة النهائية . النقطة الاولى : عندما ننتهي تماما ونحصل على نظرية رياضية تسمح بحساب النتائج ، ماذا يمكن أن نفعل ؟ انه حقا امر لا يصدق . فلحساب ما تفعله الذرة في ظرف معين نضع توجيهات وملاحظات على الورق ثم

ندخلها في آلة ذات قاطعات تنفتح وتنغلق وفق نظام معقد ، وعلى النتيجة أن تقول لنا ما ستفعل الذرة ! فإذا كان نظام انغلاق القاطعات وانفتاحها ضربا من نموذج للذرة وإذا فكرنا أن في الذرة قاطعات داخلية فانا أستطيع عندئذ أن أقول أنني أفهم ، الى حد ما ، كيف تحدث الامور . وأرى مذهلا أن نستطيع التنبؤ عما يحدث بواسطة الرياضيات وهي ليست سوى قواعد ليس لها أية صلة بما يحدث في الذرة . فانفتاح القاطعات وانغلاقها في الآلة الحاسبة شيء يختلف تماما عما يحدث في الطبيعة . وان أحد الجوانب المهمة في هذه الطريقة ، « اصدار فرضية - حساب النتائج - المقارنة مع التجربة » ، هو معرفة متى نكون على صواب . ويمكن أن نعرف ذلك حتى قبل التحقق من جميع النتائج . فالحقيقة يمكن أن نعرف من خلال جمالها ومن بساطتها . فمن السهل دوما ، عندما نجد فرضية ونقوم بحسابين صغيرين أو ثلاثة للتأكد من عدم خطئها ، أن نعرف إذا كانت صحيحة . فعندما نكون على صواب لا نخفي الصواب نفسه - على انسان له بعض الخبرة على الأقل - لان ما نجنيه يجب أن يفوق عموما ما نعطيهِ . وان فرضيتكم تعود في الواقع الى التأكيد على بساطة النظرية . فإذا لم تروا الخطأ راسا وكانت الفرضية أبسط من قبل فأنها عندئذ صحيحة . فالناس الذين ليس لديهم خبرة والجهلاء من كل الاجناس يضعون فرضيات بسيطة ولكن الخبراء يرون بسهولة أنها خاطئة ولا يحسب لها حساب . وآخرون ، كالطلاب المبتدئين ، يضعون فرضيات معقدة جدا ذات ملامح تقريبية صحيحة لكن الخبير يعلم أنها خاطئة لان الحقيقة تتجلى دوما بشكل أبسط مما تظنون . فنحن نحتاج الى خيال خصب ولكن الى خيال منضبط تماما . ويجب علينا أن نوجد ، لهذا العالم ، صورة منسجمة مع كل ما هو معروف سلفا ولكنها ، مع ذلك ، على خلاف مع بعض تنبؤاته الأخرى ، والا فلا فائدة من هذه الصورة . وهذا الاختلاف يجب أن يتفق مع الطبيعة . فإذا توصلتم الى صورة أخرى للعالم تتفق مع مجمل المعلومات السابقة في مجالات اكتشافها وتختلف عنها في مجالات أخرى تكونون قد اكتشفتم شيئا عظيما . فمن المستحيل عمليا ، وليس تماما ، أن نجد نظرية تتفق مع التجارب في جميع المجالات التي تصح فيها النظريات



السابقة وتختلف ، رغم ذلك ، نتائجها في مجال آخر ، حتى ولو لم تكن نتائج هذه النظرية منسجمة مع الطبيعة . حقا ، ان من الصعوبة بمكان ان نخترع فكرة جديدة . لان هذا يتطلب خيالا عبقريا .

ما هو مستقبل هذه المغامرة ؟ ماذا سيحدث في النهاية ؟ سوف نستمر في البحث عن القوانين ، وكما قانونا سنجد ؟ لست أدري . فبعض زملائي يرون أن هذه السمة الأساسية للعلم ستستمر ، ولكنني أعتقد اننا لن نجد أشياء جديدة باستمرار ، ولنقل خلال ألف عام قادمة . أي ليس بالامكان الاستمرار ابديا في اكتشاف قانون جديد كل يوم . ولو تقدّر ان يحدث ذلك لاصابنا الملل امام هذه المستويات المتكدسة بعضا فوق بعض . والذي يمكن ان يحدث ، على ما أرى ، هو أن تصبح جميع القوانين معروفة - أي : عندما نملك العدد الكافي من القوانين التي نتمكن من حساب نتائجها والتي تنسجم في كل المجالات مع التجربة تكون قد بلغنا نهاية السلسلة - أو أن تصبح الاجراءات التجريبية أكثر فأكثر صعوبة أو أغلى فأغلى كلفة وبحيث نكون قد فسرنا ٩٩.٩٪ من الظواهر الطبيعية ؛ ولكن سنقع باستمرار على ظواهر جديدة يصعب جدا قياسها ولا تتفق مع النظرية ؛ وبمجرد ان ننجح في تفسيرها تبرز ظاهرة أخرى ، وهكذا تصبح الامور أبطأ فأبطأ والظواهر أتفه فأتفه . ذلك هو ما قد يحدث في النهاية . وأنا أعتقد ان الامر سينتهي بهذا الشكل أو ذاك . ولكن لدينا الآن احتمال كبير في أن نعيش فترة اكتشافات عديدة . ولكنها كإكتشاف أمريكا - لا تكتشف سوى مرة واحدة . فنحن اليوم نعيش فترة اكتشاف القوانين الأساسية للطبيعة ، وهي فترة لن تعود . انها ممتعة ورائعة ولكنها لا يمكن ان تدوم . والمستقبل يخبئ لنا بالتأكيد مواضيع أخرى مثيرة : فهناك أهمية العلاقة بين شتى مستويات الظواهر الطبيعية - الظواهر البيولوجية وسواها أو ، في مجال التحريات ، تحري الكواكب الأخرى ، لكن ما نكتشفه اليوم لن يتكرر إكتشافه .

وسيحدث شيء آخر ؛ ذلك انه اذا ثبت في النهاية أن كل شيء صار معلوما أو أن الملل قد أصابنا فان الفلسفة العتيقة أو العناية النبيهة التي

تحيط بكل هذه الظواهر التي تحدثنا عنها تختفي شيئا فشيئا . والفلاسفة الذين يبدون ، على المظاهر الخارجية للأمور ، ملاحظات سخيفة سيحاصروننا عن قرب وسوف يستحيل علينا أن نرد عليهم بقولنا : « لو كنتم مصيبين لاستطعنا اكتشاف جميع القوانين الباقية . » لانهم ، عندما تصبح القوانين كلها معروفة ، سيكون لديهم تفسير يقدمونه لكل قانون . فسيكون هناك ، في كل الاحوال ، اناس يفسرون لماذا كان العالم ذا ابعاد ثلاثة . لكن لا يوجد سوى عالم واحد ومن الصعب ان نقرر اذا كان هذا التفسير صحيحا أم لا . سيوجد اذن من يشرح لماذا هذه القوانين صحيحة ، لكن هذا الشرح سيكون في اطار لن نتكمن من انتقاده على اساس انه لا يشكل وسيلة تسمح لنا بالتقدم اكثر فاكثرا . ان انحطاطا فكريا سيطرا عندئذ كالفساد الذي يشكو منه المستكشفون الكبار عندما يحتاج السواح المنطقة المكتشفة .

ان الناس في هذا العصر يعيشون تجربة اللذة ، اللذة الرائعة التي نشعر بها عندما نحزر كيف تتصرف الطبيعة في ظروف جديدة لم تتعرض اليها من قبل . فأنتم ، انطلاقا من تجارب ومعلومات حصلتم عليها في مجال ما ، سوف تستطيعون تخمين ما سيحدث في مجال لم يسبق أن تحراه انسان قط . وهذا يختلف قليلا عن التحريات التقليدية ، لان لدينا ، على الارض التي اكتشفت ، من علامات الاستدلال ما يكفي لتخمين ما قد نجد على الارض التي لم تكتشف بعد . هذه الاكتشافات غالبا ما تختلف كثيرا عما كنا قد شاهدناه - وتتطلب كثيرا من التفكير .

فما هو الشيء الذي في الطبيعة يتيح لنا ، انطلاقا من مجال ، ان نحزر كيف تجري الامور في بقية المجالات ؟ ان هذا السؤال ليس من العلم في شيء ولا ادري كيف اجيب عليه . وعلى هذا سأعطيكم جوابا غير علمي: اعتقد أن السبب يكمن في البساطة واذن : في جمال الطبيعة الرائع .

## الفهرس

٧	مقدمة
٩	ناظر جامعة كورتيل - ديل - . كرس
	١ - قانون التناقل
١١	مثال على القانون الفيزيائي
٣٤	٢ - رابطة الرياضيات بالفيزياء
٦١	٣ - مبادئ الانحفاظ الكبرى
٨٧	٤ - تناظر قوانين الفيزياء
١١٣	٥ - التمييز بين الماضي والمستقبل
	٦ - الاحتمال والارتباب
١٣١	الصفات الكمومية للطبيعة
١٥٣	٧ - طرائق البحث عن قوانين جديدة

إن الفصول السبعة التي تألف منها هذا  
الكتاب هي سلسلة محاضرات ارتجلها العالم فاينمان  
بلغة أليفة وأسلوب يتسم بالفكاهة .  
ولا يستطيع سوى أحد كبار الفيزيائيين  
في عصرنا الحاضر أن يشرح بمثل هذه الكفاءة  
وهذا الوضوح مواضيع الفيزياء الثقيلية  
ومواضيع الفيزياء المعاصرة ، هذه الفيزياء  
التي أسهم فاينمان نفسه في تقدمها وجلاء  
غوامضها إسهاماً خلاقاً . وهذه المحاضرات تستهدف  
جمهوراً واسعاً من القراء ليس لديه بالضرورة الملم عميق  
 بالرياضيات فترسم له صورة تحليلية واضحة وعصرية  
للقوانين الأساسية في الفيزياء وتروي له تاريخ هذا  
العلم منذ عصر غاليليه حتى أيامنا هذه .